

1111-42

CITese  
MEDELLIN,  
ORIGEN:1111

201677001913-1 ITCO  
ABR.-27-2016 03:03:12 P. M  
VIA:2,4

Doctor  
**JORGE ALBERTO VALENCIA MARIN**  
Director General  
UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA -UPME-  
Calle 26 No. 69 D-91, Piso 9  
Fax: (1) 221.95.37  
Bogotá, D.C.

Asunto: Convocatoria Pública UPME 05-2016. Proyecto reconfiguración de la línea Esmeralda – San Felipe 230 kV en Esmeralda – Enea – San Felipe 230 kV. Información técnica y costos de conexión.

Estimado doctor Valencia:

Atendiendo el requerimiento de la UPME, mediante comunicación con número de radicado INTERCOLOMBIA 201677001814-3 del 11 de Abril del presente año, a continuación entregamos información adicional solicitada referente al proyecto del asunto, adjuntando el estudio geotécnico en zona cercana al predio de la ampliación de la subestación La Enea 230 kV, realizado a finales del año pasado, el cual consideramos es importante hacerlo extensivo a todos los interesados en presentar la oferta de la convocatoria del asunto, dado que en el capítulo de conclusiones se recomienda usar cimentaciones especiales.

Quedamos a su disposición para cualquier información adicional que requieran o hacer una visita a las subestaciones para un mejor entendimiento de estas explicaciones.

Cordial saludo,



**LUIS ALEJANDRO CAMARGO SUAN**  
Gerente General

Anexo: Lo anunciado

Copia: 1111 – 1311 (Pablo Franco, Pedro Almario) – 4111 (Cristian Remolina) –  
3211 (Gloria Patricia Arbeláez) – 4611 (Luis Eduardo Jojoa)

2015

# Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica Para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia



Ref.: COL-15-PGA-416-ET

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
3.1	Objetivo general .....	12
3.2	Objetivos específicos .....	12
<b>4</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>13</b>
4.1	Investigación estratigráfica .....	13
4.2	Investigación de las propiedades geotécnicas de los materiales .....	13
<b>5</b>	<b>TRABAJOS REALIZADOS .....</b>	<b>14</b>
5.1	Trabajos de campo.....	14
5.1.1	Exploración.....	14
5.1.2	Ensayos geofísicos.....	14
5.1.3	Ensayos de penetración estándar (SPT) .....	14
5.2	Ensayos de laboratorio.....	15
5.2.1	Identificación.....	15
5.2.2	Estado .....	15
5.3	Normatividad Empleada .....	15
<b>6</b>	<b>UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>18</b>
7.1	Geología Regional.....	18
7.1.1	Formaciones.....	18
7.1.2	Unidades Erosionales (E).....	20
7.1.3	Unidades Dómicas (Do).....	20
7.1.4	Unidades Antrópicas (An).....	20

7.1.5	Cobertura Actual del Suelo.....	20
7.1.6	Área Construida (Ac).....	21
7.2	Marco Tectónico Local.....	21
7.2.1	Falla de Chipre.....	21
7.2.2	Falla Manizales-Aranzazu.....	21
7.2.3	Falla El Cementerio.....	22
7.2.4	Falla el Solferino I y II.....	22
7.2.5	Falla El Perro.....	22
7.2.6	Falla Romeral.....	23
7.2.7	Falla San Jerónimo.....	23
7.2.8	Falla Samaná Sur.....	23
7.2.9	Lineamientos Estructurales.....	23
7.3	Microzonificación Sísmica.....	24
7.4	Nivel Freático.....	24
7.5	Análisis MAM.....	25
7.5.1	Deformaciones del terreno.....	27
7.6	Sondeo Eléctrico Continuo.....	32
<b>8</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO.....</b>	<b>33</b>
8.1	Sondeos realizados.....	33
8.1.1	Barreno manual 1.....	33
8.1.2	Apique / Barreno manual.....	34
8.1.3	Barreno manual 2.....	35
<b>9</b>	<b>RESULTADOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>37</b>
9.1.1	Resultados de laboratorio.....	37
<b>10</b>	<b>ANÁLISIS.....</b>	<b>39</b>

---

10.1	Cimentación Directa .....	39
10.2	Cimentación Profunda .....	40
10.3	Asentamientos .....	41
10.4	Potencial de licuefacción .....	42
10.4.1	Método de Seed e Idriss (1971) .....	42
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>12</b>	<b>RECOMENDACIONES PRELIMINARES .....</b>	<b>48</b>
<b>13</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>51</b>
13.1	Plano de ubicación de trabajos realizados .....	51
13.2	Memoria de sondeos .....	52
13.3	Planos perfiles MAM .....	53
13.4	Perfiles SEC.....	54
13.5	Laboratorios .....	55
13.6	Marco teórico .....	56
13.6.1	Metodología de Trabajo .....	56
13.6.2	Ensayo “SPT” .....	56
13.6.3	Sísmica pasiva o Refracción de microtremores (ReMi-MAM) .....	57
13.7	Registro Fotografico.....	59

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Ubicación general del proyecto .....	16
Figura N° 2. Ubicación trabajos realizados.....	17
Figura N° 3. Respuesta conceptual de los suelos a esfuerzo-deformación. ....	28
Figura N° 4. Interpretación de SEC 1 .....	32
Figura N° 5. Interpretación de SEC 2 .....	32
Figura N° 6. Fotografía tomada con lupa de muestra de 4.50-5.10m de profundidad.....	33
Figura N° 7. Perfil estratigráfico Barreno Manual - S1 .....	34
Figura N° 8. Material encontrado en Apique exploratorio de 0,00 a 0,60cm .....	34
Figura N° 9. Perfil estratigráfico del Apique con avance con barreno manual.....	35
Figura N° 10. Perfil estratigráfico Barreno Manual - S2 .....	36
Figura N° 11.CSR Vs N60 (HO et al., 1986).....	43
Figura N° 12.CSR Vs N60 (Youd e Idriss, 2001) .....	44
Figura N° 13. Ejemplo de falla de borde.....	49
Figura N° 14. Falla de borde localizada.....	50
Figura N° 15. Ensayos de penetración estándar .....	57
Figura N° 16 Esquema tipos de ondas .....	57
Figura N° 17 Perfil de distribución de Vs e interpretación geológica.....	58

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Coordenadas de los trabajos de campo Subestación La Enea.....	17
Tabla N° 2. Coeficientes de aceleración sísmica Manizales, Caldas.....	24
Tabla N° 3. Niveles de agua en sondeos.....	24
Tabla N° 4. Análisis de MAM.....	27
Tabla N° 5. Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) - MAM1 .....	29
Tabla N° 6. Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) - MAM2 .....	30
Tabla N° 7. Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) – MAM3 .....	31
Tabla N° 8. Resumen Límites de Atterberg – Apique, Sondeo N° 1 y 2.....	37
Tabla N° 9. Resultado laboratorio de Sulfatos.....	37
Tabla N° 10. Resumen Granulometría por tamizado.....	38
Tabla N° 11. Capacidad portante orientativa cimentación directa en suelos y rellenos.....	40
Tabla N° 12. Rozamiento lateral para micropilotes. Teoría Lizzi.....	41
Tabla N° 13. Valores aproximados de módulo edométrico de deformación. Teoría Vanícek.....	41

## **1 RESUMEN EJECUTIVO**

El “ESTUDIO GEOTÉCNICO DE INGENIERIA BÁSICA PARA LA AMPLIACIÓN DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA LA ENEA, MANIZALES, CALDAS”, con número de referencia COL-15-PGA-416-ET

Este estudio está basado principalmente en la realización de trabajos de investigación in-situ, los cuales, se componen de las siguientes actividades: visita de reconocimiento de campo por parte del equipo de ingeniería idóneo, ejecución de pruebas de Penetración Estándar “SPT”, ensayos geofísicos y ensayos de laboratorio en suelos.

El objetivo fundamental de esta investigación, consiste en la Identificación de suelos, estratos y aspectos geológicos del área donde se encuentra el proyecto, para el desarrollo de un análisis geotécnico que sirva como herramienta para la estimación de los requerimientos de materiales y actividades que puedan ser aplicables al diseño de cimentaciones y posterior construcción de obras geotécnicas asociadas a la ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea.

La campaña geotécnica fue realizada en el periodo comprendido entre el 16 de Octubre al 21 de Octubre del 2015, se inicia con una visita a la zona de estudio mediante un recorrido geológico. Posteriormente, se procede a realizar, tres (3) ensayos de geofísica MAM abarcando una profundidad de 30m y dos SEC o tomografía eléctrica. Para la exploración directa del terreno se realizaron las siguientes actividades: Un apique a 1,0m de profundidad con avance mediante barreno manual hasta 5,0m y dos (2) barrenos manuales a 7,0 y 10,0m respectivamente, esta exploración del subsuelo se enfocó en la obtención de muestras directas para ser analizadas en laboratorio, complementados por métodos de geofísica para recolección de datos de forma indirecta, esto con el fin de obtener información del suelo en las zona donde se proyecta la ampliación de la subestación.

Según SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, para el departamento de Caldas y particularmente para a la ciudad de Manizales, se presenta el complejo Quebradagrande de edad Cretácica incluye rocas volcánicas y sedimentarias, éstas últimas consistentes en areniscas líticas, brechas

sedimentarias, conglomerados polimíticos con clastos volcánicos, además cuarzo lechoso, fragmentos de anfibolitas, chert, lutitas, lentes de calizas y grauvacas.

Formación Manizales: Formación depositada en el intervalo temporal de 4 a 8 millones de años, que suprayace el basamento. Está constituida por un conjunto de rocas sedimentarias vulcanogénicas con clastos del complejo volcánicos Ruiz-Tolima.

Formación Casablanca: Esta unidad al igual que la anterior y los depósitos piroclásticos, que le sirven de piso y techo, constituyen el supraterrano de Manizales. Especialmente, reposa sobre la formación Manizales y el complejo

El entorno de la ciudad de Manizales lo constituyen unidades de roca que se han establecido en distintos periodos de tiempo y cuya historia está contenida dentro de la misma evolución de la Cordillera Central, en un ambiente dinámico, que involucró tanto el dominio oceánico como continental. Rocas sedimentarias depositadas en un mar Cretácico poco profundo, intercaladas con productos vulcanismo submarino constituyen la base de la columna geológica regional en el área de estudio, estas rocas se encuentran suprayacidas por rocas y depósitos continentales del terciario superior principalmente (formaciones Casablanca y Manizales y del Cuaternario que tuvieron origen en una actividad volcánica tanto intrusiva como extrusiva, así como de origen fluviovolcánico y aluvial.

La zona de estudio según el NSR-10 cuenta con los siguientes coeficientes de aceleración sísmica  $A_a = 0.25$  y  $A_v = 0.25$ .

Según los estudios geofísicos realizados en campo a partir de las velocidades de onda  $V_s$ , el suelo se clasifica como *E* los cinco primeros metros en promedio, a partir de dicha profundidad se clasifica como suelos tipo *D* hasta los 30 metros de estudio, (Véase la tabla A.2.4-1 de NSR 10).

El tipo de suelo explorado está constituido por un relleno de depósitos aluviales posiblemente por la deposición de material de los ríos o cuencas encontrados en sus cercanías este material fue encontrado a una profundidad de los primeros 0,60cm del apique, Sin embargo, en otras zonas se presentan rellenos de arena limoarcillosa poco densas hasta los 5,00 metros aproximadamente, se destaca que en éste material de relleno se encontró restos de ropa, por lo que se cree que el

material fue depositado de otro lugar; seguidamente de limos arcillosos de consistencia media a dura color café.

Se han detectado niveles de agua en las exploraciones realizadas, las cuales, se presentan a continuación:

SONDEO	LONGITUD	NIVEL FREÁTICO	FECHA	CLIMA
	(m)	(m)		
AP	1,00 a 5,00 (Hoyador)	1,50	15/10/2015	Lluvioso
BM_1	7,00	3,00	16/10/2015	Lluvioso
BM_2	10,00	1,80	17/09/2015	Lluvioso

*Tabla. Niveles de agua en sondeos.*

Para la determinación del contenido de Ión Sulfato presente en el suelo dónde se apoyarán las estructuras, se empleó la norma INVIAS INV-233, es de 0.0074% de  $SO_4$  en suelo, lo cual, corresponde a una categoría de exposición: S0, sin afectación sobre el concreto.

Grado de expansión: según el “Artículo E-132-07 de la Norma INVIAS – Determinación de suelos expansivos,” para la determinación de suelos expansivos y los resultados de laboratorio obtenidos en las muestras de suelo recopiladas, los suelos en sus primeros metros de perforación se obtiene un grado de expansión bajo. Por otro lado, el potencial de licuefacción en la zona de rellenos oscila entre medio a alto. Adicionalmente, estos suelos no se recomiendan como material de relleno en estructuras.

Para la cimentación de estructuras en la zona de estudio, se requiere el retiro de material orgánico o rellenos con sobretamaños, y realizar una preparación de la superficie de trabajo mediante una base compactada sobre una geotextil de separación no tejido. Se recomienda proyectar cimentaciones superficiales acompañadas de micropilotes los cuales actuarán como elementos de control de asentamientos. La zapata debe tener la presión de contacto con el terreno según lo indicado en la tabla adjunta y los micropilotes pueden diseñarse con un rozamiento lateral de 10 KPa para la zona

de rellenos y de 30KPa para suelo natural. Con este tipo de cimentación se esperan asentamientos menores de 2,4cm en varios años.

<b>PATIO DE EQUIPOS</b>									
<b>CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE KPa</b>									
<b>BxL [m] Df [m]</b>	<b>1,0x1,0</b>	<b>1,5x1,5</b>	<b>2,0x2,0</b>	<b>2,5x2,5</b>	<b>3,0x3,0</b>	<b>3,5x3,5</b>	<b>4,0x4,0</b>	<b>4,5x4,5</b>	<b>5,0x5,0</b>
1	72	69	71	74	77	82	86	91	96
1,5	81	81	85	90	97	104	111	118	126
1,8	87	88	93	100	108	117	126	135	144
2	90	92	99	107	116	126	136	146	156
2,2	94	97	104	114	124	135	145	157	168
2,5	99	104	113	124	136	148	160	173	186

**Tabla. Resumen - Resultados del análisis de cimentación – Equipos**

Durante el desarrollo de este informe se presentan los trabajos de campo, laboratorio y análisis que definen las conclusiones de este estudio.

---

## **2 INTRODUCCIÓN**

El documento denominado “ESTUDIO DE INGENIERÍA BÁSICA PARA LA AMPLIACIÓN DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA LA ENEA, CALDAS, MANIZALES, COLOMBIA”, con número de referencia COL-15-PGA-416-ET.

Este estudio se basa principalmente en la realización de trabajos de investigación in-situ, los cuales, se componen de las siguientes actividades: visita de reconocimiento de campo por parte del equipo de ingeniería idóneo y la realización trabajos exploratorios. Todo ello con el propósito de identificar los materiales que componen el suelo en la zona del proyecto, en lo referente a su identificación y estado, para así obtener los parámetros necesarios para una conceptualización geotécnica del terreno para una posterior verificación de los estudios proporcionados por el cliente de la zona de proyecto asociados a la ampliación de la Subestación La Enea. Para cumplir con el objeto, el reporte debe dar respuesta a los siguientes aspectos:

- Características geotécnicas de identificación de los materiales que componen el subsuelo en la zona de estudio.
  
- Aspectos geológico - geotécnicos encontrados en la zona de proyecto.

### **3 OBJETIVOS**

Para el estudio en curso se definieron los siguientes objetivos:

#### **3.1 Objetivo general**

Identificación de suelos, estratos y aspectos geológicos para el desarrollo de un análisis geotécnico que sirva como herramienta para la estimación de los requerimientos de material y actividades que puedan ser aplicables al diseño y posterior construcción de la ampliación de la Subestación La Enea.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Realizar ensayos de identificación a las muestras de suelos obtenidas in-situ.
- Correlacionar la información obtenida en los barrenos manuales y apique con los estudios de geofísica.

## **4 ALCANCE**

El alcance de este estudio, junto con la investigación realizada, deberá ofrecer alternativas de solución a los temas planteados anteriormente, para dicha solución tres etapas de trabajo, las cuales se describen a continuación.

### **4.1 Investigación estratigráfica**

Verificación de estratos superficiales, su respectivo espesor, extensión e identificación aproximada hasta la profundidad proyectada.

Determinación de la existencia o no de agua en el subsuelo.

Registro de todos los incidentes, observaciones y ensayos realizados durante el progreso de la investigación estratigráfica.

### **4.2 Investigación de las propiedades geotécnicas de los materiales**

- Conocer e identificar correctamente las propiedades geotécnicas del terreno para poder estimar conceptualmente su comportamiento.
- Localización de estratos o estructuras de suelo críticas, en relación con anomalías de índole geológica, y la investigación cuidadosa del aspecto o propiedad geotécnica determinante.

---

## **5 TRABAJOS REALIZADOS**

A continuación se describen las actividades realizadas en campo:

### **5.1 Trabajos de campo**

#### **5.1.1 Exploración**

La campaña geotécnica fue realizada en el periodo comprendido entre el 16 de Octubre al 21 de Octubre del 2015, se inicia con una visita a la zona de estudio mediante un recorrido geológico. Posteriormente, se procede a realizar, tres (3) ensayos de geofísica MAM abarcando una profundidad de 30m y dos SEC o tomografía eléctrica. Para la exploración directa del terreno se realizaron las siguientes actividades: Un apique a 1,0m de profundidad con avance mediante barreno manual hasta 5,0m y dos (2) barrenos manuales a 7,0 y 10,0m respectivamente, esta exploración del subsuelo se enfocó en la obtención de muestras directas para ser analizadas en laboratorio, complementados por métodos de geofísica para recolección de datos de forma indirecta, esto con el fin de obtener información del suelo en las zona donde se proyecta la ampliación de la subestación. El Anexo 13.1, contiene la ubicación donde se realizaron los estudios.

#### **5.1.2 Ensayos geofísicos**

Se realizaron tres (3) líneas de sísmica pasiva MAM y 2 (SEC) o tomografías eléctricas. Los Anexos 13.6.1, contiene la metodología del ensayo.

#### **5.1.3 Ensayos de penetración estándar (SPT)**

Se llevaron a cabo Pruebas Penetrométricas tipo SPT Los Anexo 13.6.2, contienen la metodología de cada ensayo.

## **5.2 Ensayos de laboratorio**

### **5.2.1 Identificación**

Se realizaron ensayos de Humedad Natural, ensayos de Límite líquido y Límite plástico y ensayos de Granulometría. El Anexo 13.6, contiene la metodología de cada ensayo.

### **5.2.2 Estado**

Se realizaron de Peso Unitario. El Anexo 13.6, contiene la metodología de cada ensayo.

## **5.3 Normatividad Empleada**

Para la elaboración de este informe se seguirán las recomendaciones de las siguientes normas:

- a) ASTM American Society for Testing and Materials.
- b) ACI American Concrete Institute.
- c) Norma Sismo Resistente NSR-10.

## 6 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Subestación Eléctrica de la Enea se encuentra ubicada a los 2141m.s.n.m., se ubica 20 minutos del Aeropuerto La Nubia y 2 Km del barrio Gallinazo, tal y como se muestra a continuación.



*Figura N° 1 Ubicación general del proyecto*

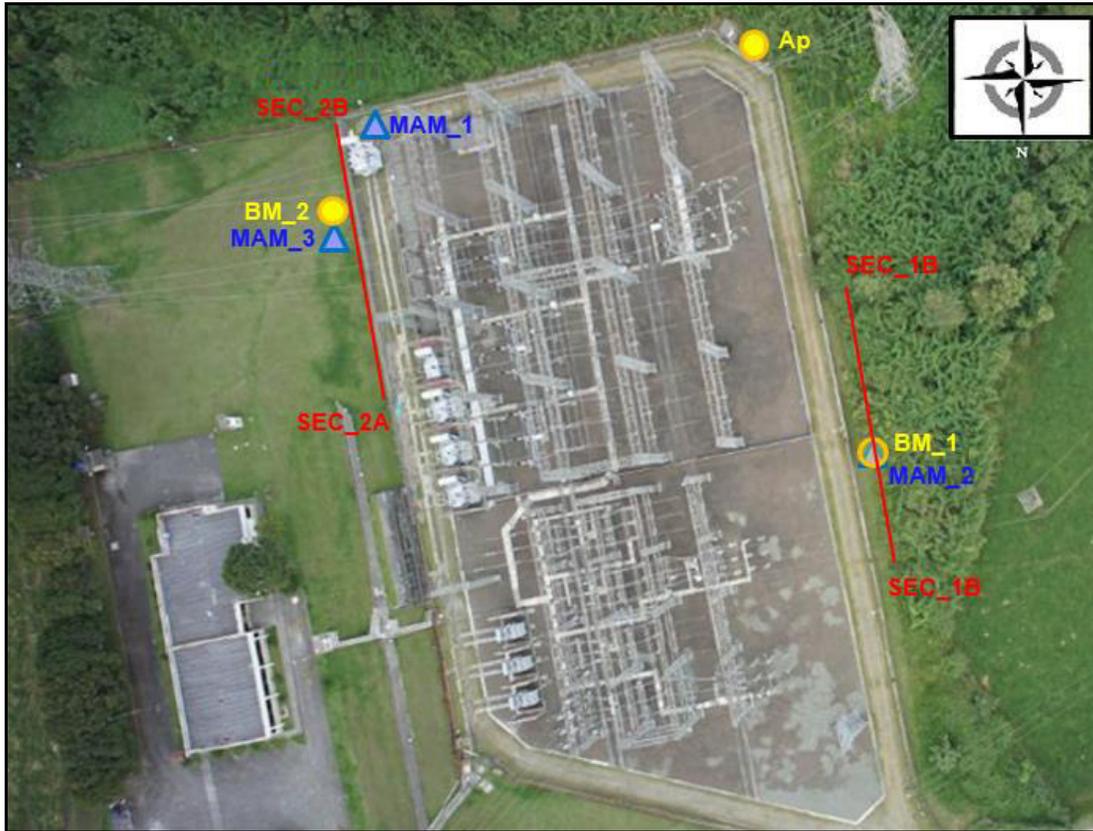


Figura N° 2. Ubicación trabajos realizados

A continuación se destacan las coordenadas de los trabajos realizados en la Subestación La Enea:

Ensayo	Coordenadas UTM 18 N		
	Punto	Este	Norte
BM 1	1D	449207	554880
BM 2	1D	449235	554781
AP	1D	446166	554818
SEC_1	A	449230	554917
	B	449188	554860
SEC_2	A	449256	554803
	B	449226	554767
MAM_1	1D	449240	554780
MAM_2	1D	449235	554781
MAM_3	1D	449222	554777

Tabla N° 1. Coordenadas de los trabajos de campo Subestación La Enea

---

## 7 RESULTADOS OBTENIDOS

### 7.1 Geología Regional

El entorno de la ciudad de Manizales lo constituyen unidades de roca que se han establecido en distintos períodos de tiempo y cuya historia está contenida dentro de la misma evolución de la Cordillera Central, en un ambiente muy dinámico, que involucró tanto el dominio oceánico como continental. Rocas sedimentarias depositadas en un mar cretácico poco profundo, intercaladas con productos de vulcanismo submarino constituyen la base de la columna geológica regional en el área de estudio (Formación Quebrada Grande -Kqd-, gabros del Río Olivares -Kgb-); estas rocas se subyacen depósitos continentales del Terciario Superior principalmente (Formaciones Casabianca -Tscb- y Manizales -Tsmz-) y del Cuaternario que tuvieron origen en una actividad volcánica tanto intrusiva (Domo Sancancio -Qdsc- y Domo Tesorito -Qdt-) como extrusivas (Depósitos de Caída Piroclástica -Qcp-), así como de origen fluviovolcánico (Flujos de escombros -Qfe-) y aluvial (Qa).

#### 7.1.1 Formaciones

- **Formación Quebradagrande (Kqd)**

Constituida básicamente por la intercalación de estratos de areniscas, conglomeráticas, lodolitas, síliceas y chert, la apariencia es masiva presentando un alto grado de fracturamiento, diaclasamiento, plegamiento, aplastamiento y orientación de los clastos por encontrarse en el área de influencia del Sistema de Fallas de Romeral (Hernández y Zuluaga 1993) Aflora principalmente al Noreste de la ciudad.

- **Formación Casabianca (Tscb).**

Conformada por sedimentos volcanogénicos de grano grueso con alto grado de meteorización: reposa discordantemente sobre las Formaciones Manizales y Quebradagrande, y es a su vez suprayacida por depósitos de lluvia piroclástica. (Aguirre et.al., 1.993).

- **Formación Manizales (Tsmz).**

Consiste de depósitos fluviovolcánicos de alta compactación, constituidos por conglomerados clasto soportados embebidos en una matriz arenosa grisácea con algunas coloraciones rojizas por oxidación; los clastos van de subangulares a subredondeados y son principalmente de chert, diabasa y fragmentos conglomeráticos (Naranjo y Ríos 1.989).

- **Domos de Tesorito (Qdt).**

Al Sureste de Manizales, cerca al Barrio La Enea, describen dos domos que conforman los labios del cráter de un volcán dómico que poseen características genéticas propias, teniéndose para el domo Occidental una geomorfología típica de un domo colada, mientras que el otro es un domo simple, caracterizado por el empaquetamiento espectacular de las andesitas basálticas columnares que lo forman (Naranjo y Ríos, 1989).

- **Depósitos de Caída Piroclástica (Qcp).**

Son materiales recientes que forman una secuencia estratigráfica inconsolidada, constituida por cenizas, arenas volcánicas y **pómez tamaño lapilli** provenientes de la actividad explosiva del complejo volcánico Ruiz-Tolima. (Aguirre et.al., 1.993), el color varía desde gris hasta café oscuro. Presenta horizontes de materia orgánica y generalmente se encuentra alterada a arcillas, ocasionalmente arenosas y por lo general muy plásticas. (Aguirre et.al., 1.993). Se presentan hacia el sector Este de Manizales, cubriendo aproximadamente un 30% del área urbana sobre algunos barrios de las comunas.

- **Depósitos Aluviales (Qal).**

En el área estos depósitos se encuentran asociados a la red principal de drenaje que recorre la ciudad, Río Chinchiná y quebradas Olivares y Solferino básicamente. Estos depósitos semiconsolidados a inconsolidados, están conformados por material piroclástico retrabajado y por fragmentos de roca de diverso origen y tamaño, provenientes desde las distintas unidades de roca que afloran en el área de influencia del drenaje

- **Gabros (Kgb).**

Corresponde a un pequeño cuerpo que aflora al Norte de la ciudad de Manizales sobre el Río Olivares, en el sector del barrio Galán. El rasgo más característico de estos cuerpos gabroícos es la coloración verde que ellos presentan por la presencia de olivinos. Los afloramientos más frescos se encuentran en el cauce del Río Olivares, aunque también se observan afloramientos muy meteorizados en un sector de la carretera Manizales- Neira. (Aguirre et.al., 1.993)

### **7.1.2 Unidades Erosionales (E).**

Son aquellas que debido a sus características geológicas se ven intensamente afectadas por la actividad antrópica. Están relacionadas directamente con procesos erosivos gravitacionales; se evidencia por la presencia de pendientes abruptas, colinas erosionales y coluviones.

Estas unidades están distribuidas hacia las laderas perimetrales de la ciudad, en especial en el sector colindante a la carretera Panamericana, vía Arauca, sectores aledaños a la Avenida del Río en la vía al Magdalena entre el Batallón y hacia el sur en inmediaciones con Villamaría, influenciados tanto por zonas de escarpes de fallas, como por la modificación de los terrenos a urbanizar.

### **7.1.3 Unidades Dómicas (Do).**

Las Unidades de domos volcánicos están representadas por los Domos San Cancio y Tesorito. El Domo San Cancio al Sur de Manizales, está localizado en los sectores aledaños a los barrios la Playita, Aranjuez, Fátima y San Cancio y El Domo Tesorito al Sureste, en el sector de Maltería, compuesto por dos cuerpos pequeños con características y condiciones de formación propias, el más Occidental presenta una geoforma típica de domo colada y el otro de un domo simple (Naranjo y Ríos, 1990). Estos domos representan geoformas aisladas dentro del conjunto de unidades geomorfológicas.

### **7.1.4 Unidades Antrópicas (An).**

Son zonas relacionadas directamente con la modificación que el hombre hace del suelo para urbanizar, mediante la realización de cortes y rellenos que corresponden a la parte construida de la ciudad.

### **7.1.5 Cobertura Actual del Suelo.**

En la ciudad de Manizales se destacan dos formas principales de uso del suelo, uno relacionado con aspectos urbanísticos y otro con la cobertura vegetal natural o antrópica, los cuales inciden negativa o positivamente en la ocurrencia de fenómenos naturales o antrópicos. (Plano AU-5-1)

### **7.1.6 Área Construida (Ac).**

Correspondiente a sectores donde se ha consolidado un desarrollo urbanístico mediante la adecuación de terrenos (movimientos de tierra) para la construcción de viviendas y su infraestructura vial y urbanística correspondiente.

## **7.2 Marco Tectónico Local.**

El área de estudio se encuentra afectada tectónicamente por dos sistemas principales de fallas, el de Romeral y el de Palestina, con tendencias dominantes Norte-Sur y Noreste, respectivamente, con algunas desviaciones al NW-NE, los cuales poseen una gran continuidad regional e imprimen fuertes rasgos de tectonismo en las rocas del área, evidenciados por un gran fracturamiento, diaclasamiento y levantamiento del basamento rocoso (Formación Quebradagrande), lo que tiene alta incidencia en los movimientos de masa presenten en la zona. Se presentan dos sistemas de lineamientos con tendencias predominantes Este -Oeste, Noreste y Noroeste, con una continuidad menor en sus trazos y una expresión geomorfológica menos relevante; debe entenderse que estos lineamientos acentúan su expresión geomorfológica dependiendo de los agentes, condiciones y factores erosivos, por lo cual la menor expresión en el paisaje de dichos lineamientos no implica necesariamente que éstos sean menos importantes. En el mapa Geológico-Estructural (Plano AU-1-1 del SGC) están cartografiadas las fallas y los lineamientos estructurales de mayor expresión topográfica y evidencias geomorfológicas, como los que se indican a continuación.

### **7.2.1 Falla de Chipre.**

Conforma hacia el sector Oeste de la ciudad un escarpe de falla con una altura aproximada de 200 metros y afecta los depósitos volcanodetríticos de la Formación Manizales. Se encuentran ligados a ésta, procesos de reptación y erosión laminar, generando coluviones sobre estos sectores. Esta falla posee una dirección dominante N-S, aunque en la parte norte se quiebra hacia el NW (sector donde se observa el escarpe de Chipre). (Aguirre et.al., 1.993).

### **7.2.2 Falla Manizales-Aranzazu.**

Cartografiada en Naranjo y Ríos (1989) y Echavarría et.al., (1991), como la falla Manizales y caracterizada como una estructura dispuesta en sentido N-S que atravesando las poblaciones de Manizales y Villamaría continúa hacia el sur del área por más de 10 kilómetros; afecta o corta los depósitos de la Formación Mainsails, controla la dirección del cauce de la quebrada Marmato al Sur y la quebrada Matadero al Norte, los cuales muestran cauces lineales con cañones profundos y perfiles longitudinales verticales. Para este trabajo se adopta el nombre "Falla Manizales-Aranzazu"

del estudio "Contribución a la evaluación Hidrogeológica y susceptibilidad a fenómenos Volcánicos, Fuente Áreas de Sedimentos y Caracterización Morfotectónica de las Fallas Probablemente Activas de la Cuenca del Río Chinchiná". (Betancourth et.al., 1.998). En Manizales el trazo es muy tenue debido al enmascaramiento que ocasionan los depósitos volcanoclásticos presentes y al desarrollo urbanístico, Los rasgos morfotectónicos asociados a esta traza son: silletas, facetas triangulares, hombreras, cambios altimétricos de ladera, colinas deflectadas sugiriendo desplazamiento dextral cambios altimétricos de cuchilla y control rectilíneo de cauces. (Betancourth et.al., 1.998) Franco y Prieto (1992), definen esta falla como de tipo normal de acuerdo a las evidencias microestructurales encontradas.

### **7.2.3 Falla El Cementerio.**

Posee una dirección SW-NE y cruza el centro de la ciudad. La evidencia geomorfológica se encuentra hacia el Sur a través del cauce de la quebrada Única y Solferino en el sector Norte, controlando sus cauces. (Aguirre et.al., 1.993).

### **7.2.4 Falla el Solferino I y II.**

Corresponden a dos trazos de fallas de dirección N-S, paralelos entre sí, e intersectados por otro sistema de fallas E-W que las desplazan. Las evidencias geomorfológicas están representadas por facetas triangulares y silletas alineadas, cambios abruptos de pendiente y una notoria disección de los cauces menores que conforman el paisaje del sector urbano de los barrios Comuneros, El Porvenir, La Carola y Solferino; en su tramo más septentrional. Guzmán (1991), detecta en campo un plano de falla que afecta un nivel piroclástico con matriz alterada. (Aguirre et.al., 1.993).

### **7.2.5 Falla El Perro.**

Reportada por Naranjo y Ríos (1989); atraviesa el extremo Oriental de la ciudad de Manizales, controlando linealmente el cauce de la quebrada El Perro, con dirección N-S; continúa hacia el Norte atravesando los barrios La Sultana, Minutas y La Cumbre, donde su expresión geomorfológica es evidenciada por un grupo de silletas y facetas triangulares alineadas. En el sector Nor-Este del barrio La Sultana, Guzmán (1991), pudo verificar la actividad neotectónica de la falla, al afectar cenizas de la sección superior de los depósitos de caída piroclástica, encontrando un plano de falla N-S/60W con estrías orientadas S55W y desplazamientos menores a los 5 cms. (Betancourth et.al., 1998) Naranjo y Ríos (1989), establecen que afecta rocas de la Formación Quebradagrande de edad Cretácica. Además Borrero y Naranjo (1990), proponen dicha estructura como el control deposicional de las Formaciones Manizales y Casabianca para el Mioceno-Pleistoceno.

### **7.2.6 Falla Romeral.**

Definida por Grosse (1926) como una falla de tipo inversa que constituye el rasgo principal del Sistema de Fallas de Romeral. Este trazo con orientación N 5º E cruza aproximadamente a 3 Km. al Occidente de la ciudad de Manizales. Los principales rasgos morfoestructónicos asociados a esta falla son: colinas y cauces deflectados, cambios altimétricos, silletas, hombreras, facetas triangulares, cauces rectilíneos y valles en “V” simétricos. Ejerce control estructural en los drenajes que intercepta su traza tal como las quebradas de la Quebra, El Rosario y Río Guacaica. (Betancourth et.al., 1998)

### **7.2.7 Falla San Jerónimo.**

Pertenece al Sistema de fallas de Romeral Se localiza al Noreste de Manizales con dirección aproximada N 14º E y se trunca con la falla El Perro en el sector de la comuna 7 en el barrio La Alhambra. Las características morfoestructónicas asociadas a esta falla son: deflexiones de cauces de orden menor, facetas triangulares, silletas, hombreras y principalmente cambios altimétricos. (Betancourth et.al., 1998)

### **7.2.8 Falla Samaná Sur.**

Descrita y cartografiada por González (1980). Esta falla hace parte del Sistema de fallas de Romeral. Como indicios morfoestructónicos asociados a la traza de esta falla se encuentran: facetas triangulares, silletas alineadas, cambios altimétricos, escarpe y control de cauce. Esta estructura se ubica al este del Municipio cruzando la ciudad en sentido Noreste por el barrio La Enea y El Parque Industrial Juanchito con evidencia microestructural de estrías N46º E/51º SE en el sector de Maltería. (Betancourth et.al., 1998)

### **7.2.9 Lineamientos Estructurales.**

La complejidad tectónica sobre la cual está la ciudad de Manizales, le imprime rasgo morfoestructónicos que permiten identificar innumerables lineamientos de este tipo en sentido Noreste y Noroeste, cuya distribución espacial se observa afectando gran parte de las comunas de la ciudad. En el Plano AU-1-1 se incluyen los principales lineamientos.

### 7.3 Microzonificación Sísmica

La zona de estudio según el NSR-10 cuenta con los siguientes coeficientes de aceleración sísmica (basados en la ciudad más cercana):

Ciudad	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica
Manizales	0,25	0.25	Alta

*Tabla N° 2. Coeficientes de aceleración sísmica Manizales, Caldas.*

### 7.4 Nivel Freático

Se han detectado niveles de agua en las exploraciones realizadas, las cuales se presentan a continuación:

SONDEO	LONGITUD	NIVEL FREÁTICO	FECHA	CLIMA
	(m)	(m)		
AP	1,00 a 5,00 (Hoyador)	1,50	15/10/2015	Lluvioso
BM_1	7,00	3,00	16/10/2015	Lluvioso
BM_2	10,00	1,80	17/09/2015	Lluvioso

*Tabla N° 3. Niveles de agua en sondeos.*

### 7.5 Análisis MAM

A continuación se presentan los análisis del ensayo Sísmica de Refracción Pasiva o MAM.

Ensayo	Profundidad del Estrato (m)	Rango de Velocidad de Corte (m/s)	Tipo de Suelo	Descripción de suelo o roca	Observaciones
MAM 1	0-1.2	205	D	Suelo rígido	Relleno compactado de limo arenoso con gravas
	1.2-2.3	82	F	Suelos que requieren evaluación específica del sitio.	Relleno orgánico con presencia de plantas y suelo limo arcilloso muy blando.
	2.3-7.0	127-172	E	Suelo	Limo arcilloso consistencia blanda a media.
	7.0-30.0	232-281	D	Suelo rígido.	Limo arcilloso consistencia media a dura. Fin del sondeo 10.0m, a partir de entonces se asume continuidad del estrato por la velocidad obtenidas dentro del mismo rango.

*Los primeros 1.2m muestran velocidad de 206m/s, posible relleno compactado o presencia de gravas. A partir de entonces, el perfil muestra que la velocidad de corte aumenta con la profundidad, indicativo que las propiedades geomecánicas de los materiales mejoran con la profundidad. Según la tabla de clasificación de suelo, a partir de las velocidades de corte Vs, existe suelo tipo F. Estos suelos son susceptibles a fallas o colapsos y necesitan evaluación específica del sitio mediante ensayos especializados. El promedio Vs 30m = 220.0 m/s Tipo D.*

MAM 2	0-2.3	65.-77	F	Suelos que requieren evaluación específica del sitio.	Relleno orgánico con presencia de plantas y suelo limo arcilloso consistencia muy blanda.
	2.3-5.3	141-176	E	Suelo	Relleno de Limo arcilloso consistencia blanda a media
	5.3-8.9	184-203	D	Suelo rígido.	Limo arcilloso con arena consistencia media a dura.
	8.9-11.0	179	E	Suelo	. Fin del sondeo 6.9m, a partir de entonces se asume continuidad del estrato por la velocidad obtenidas dentro del mismo rango.
	11.0-30.0	189-30.0	D	Suelo rígido.	Posible Limo arcilloso con arena consistencia media a dura.

*El perfil muestra intercalaciones de suelo con consistencia variable de blanda a media. Según la tabla de clasificación de suelo, a partir de las velocidades de corte Vs, existe suelo tipo F. Estos suelos son susceptibles a fallas o colapsos y necesitan evaluación específica del sitio mediante ensayos especializados. El promedio Vs 30m = 187.5 m/s Tipo D.*

MAM 3	0-1.2	306	D	Suelo rígido.	Relleno compactado, compuesto de limo arenoso con grava y presencia de bolos.
	1.2-5.3	109-171	E	Suelo	- 1.2-2.3m Relleno orgánico con presencia de plantas y suelo limo arcilloso muy blando. - 2.3-5.3m Limo arcilloso consistencia blanda a media.
	5.3-30.0	235-329	D	Suelo rígido.	-Limo arcilloso consistencia media a dura. -Fin del sondeo 10.0m, a partir de entonces se asume continuidad del estrato por la velocidad obtenidas dentro del mismo rango.
<p><i>Los primeros 1.2m muestran velocidad de 206m/s, posible relleno compactado. A partir de entonces, el perfil muestra que la velocidad de corte aumenta con la profundidad, indicativo que las propiedades geomecánicas de los materiales mejoran con la profundidad. El promedio Vs 30m =247.0 m/s Tipo D.</i></p>					

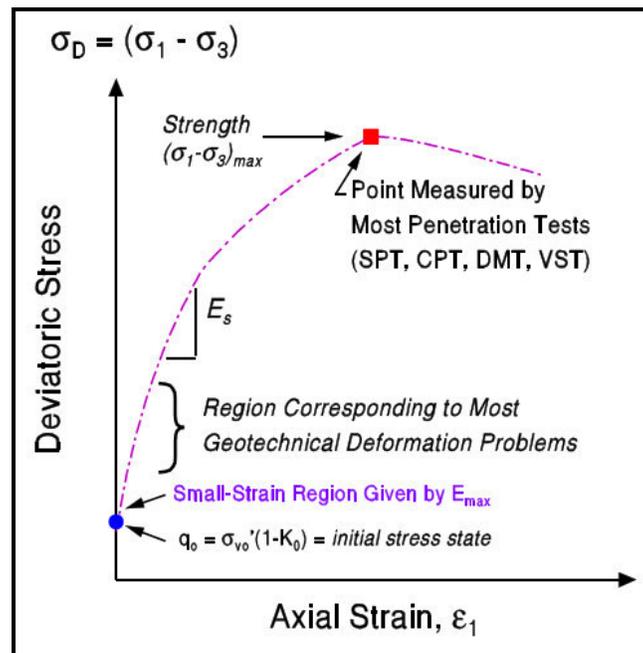
**Tabla N° 4. Análisis de MAM**

### 7.5.1 Deformaciones del terreno

El objeto primordial de la interpretación de estos resultados, para efecto de este informe, ha sido para determinar parámetros geotécnicos de deformación del suelo. Las ondas Vs (corte) serán utilizados para determinar G módulo de corte, y a partir del valor obtenido de G se calcula el módulo elástico E. Como K y G están relacionados para con el módulo elástico E, estos valores se utilizarán para determinar K módulo de compresibilidad.

Parámetros:

- i.  $G_{max}$  y  $E_{max}$ , corresponden a los módulos equivalentes de pequeñas deformaciones de corte ( $<10^{-3}\%$ ) (Small Strain, descrito de forma detallada en: “Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced in-situ tests”, Paul W. Mayne, Proceedings, International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties & Case Histories [In-Situ 2001], Bali, Indonesia, May 21-24, 2001, pp. 27-48).
- ii.  $v_s$ ,  $E_{fs}$ (frontera superior),  $E_{fi}$ (frontera inferior) corresponde a parámetros estimados para el análisis geotécnico de cimentaciones directas (deformación de corte ( $>0.1\%$ ) tal y como señala el gráfico adjunto:



**Figura N° 3. Respuesta conceptual de los suelos a esfuerzo-deformación.**

NOTA: Si se requiere mayor información, consultar:

<http://ingeosolum.blogspot.com/2011/12/refraccion-sismica-integrada-con.html>

En el anexo 13.3 encuentra los planos perfiles de MAM realizados en campo.

A continuación se presentaran los resultados de los cálculos de los módulos.

**- Línea MAM 1**

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	p (kN/m3)	Gmax (MPa)	Kmax (Mpa)	v	E <sub>max</sub> (MPa)	E <sub>fs</sub> (MPa)	E <sub>fi</sub> (MPa)
1	411	205	2,00	17	73	196	0,33	195	38,9	29,2
2	1381	82	16,84	16	11	3099	0,50	33	6,6	4,9
3	1431	127	11,27	16	26	3308	0,50	79	15,8	11,8
4	1472	163	9,03	16	43	3480	0,49	130	25,9	19,4
5	1472	163	9,03	16	43	3480	0,49	130	25,9	19,4
6	1481	172	8,61	18	54	3956	0,49	162	32,5	24,3
7	1481	172	8,61	18	54	3956	0,49	162	32,5	24,3
8	1578	260	6,07	18	124	4408	0,49	369	73,8	55,4
9	1585	265	5,98	18	129	4442	0,49	383	76,6	57,5
10	1585	265	5,98	18	129	4442	0,49	383	76,6	57,5
11	1600	280	5,71	18	144	4510	0,48	427	85,5	64,1
12	1600	280	5,71	18	144	4510	0,48	427	85,5	64,1
13	1600	280	5,71	18	144	4510	0,48	427	85,5	64,1
14	1548	232	6,67	18	99	4270	0,49	294	58,9	44,1
15	1548	232	6,67	18	99	4270	0,49	294	58,9	44,1
16	1563	246	6,35	18	111	4339	0,49	331	66,1	49,6
17	1563	246	6,35	18	111	4339	0,49	331	66,1	49,6
18	1563	246	6,35	18	111	4339	0,49	331	66,1	49,6
19	1591	271	5,87	18	135	4469	0,49	401	80,1	60,1
20	1591	271	5,87	18	135	4469	0,49	401	80,1	60,1

**Tabla N° 5. Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) - MAM1**

• **Línea MAM 2**

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	p (kN/m <sup>3</sup> )	Gmax (MPa)	Kmax (Mpa)	v	E <sub>max</sub> (MPa)	E <sub>fs</sub> (MPa)	E <sub>fi</sub> (MPa)
1	131	65	2,02	15	6	18	0,34	17	3,5	2,6
2	1375	77	17,86	15	9	2882	0,50	27	5,4	4,1
3	1447	141	10,26	16	32	3375	0,50	97	19,4	14,6
4	1486	176	8,44	16	51	3538	0,49	151	30,2	22,6
5	1486	176	8,44	16	51	3538	0,49	151	30,2	22,6
6	1494	184	8,12	16	55	3570	0,49	165	33,0	24,7
7	1494	184	8,12	16	55	3570	0,49	165	33,0	24,7
8	1515	203	7,46	18	76	4115	0,49	226	45,1	33,9
9	1489	179	8,32	16	52	3550	0,49	156	31,2	23,4
10	1489	179	8,32	16	52	3550	0,49	156	31,2	23,4
11	1500	189	7,94	16	58	3596	0,49	174	34,8	26,1
12	1500	189	7,94	18	66	4045	0,49	196	39,2	29,4
13	1500	189	7,94	18	66	4045	0,49	196	39,2	29,4
14	1528	214	7,14	18	84	4176	0,49	251	50,1	37,6
15	1528	214	7,14	18	84	4176	0,49	251	50,1	37,6
16	1625	302	5,38	18	168	4627	0,48	497	99,3	74,5
17	1625	302	5,38	18	168	4627	0,48	497	99,3	74,5
18	1625	302	5,38	18	168	4627	0,48	497	99,3	74,5
19	1561	244	6,40	18	109	4330	0,49	325	65,1	48,8
20	1561	244	6,40	18	109	4330	0,49	325	65,1	48,8

**Tabla N° 6. Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) - MAM2**

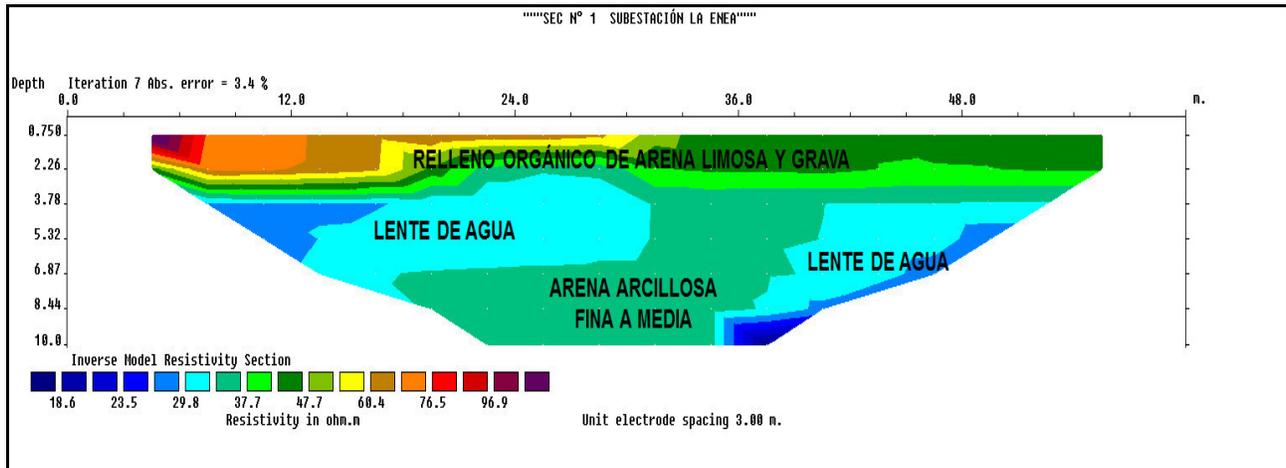
• **Línea MAM 3**

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	Gmax (MPa)	Kmax (Mpa)	$\nu$	E <sub>max</sub> (MPa)	E <sub>fs</sub> (MPa)	E <sub>fi</sub> (MPa)
1	612	306	2,00	18	172	459	0,33	459	91,7	68,8
2	1411	109	12,94	16	19	3225	0,50	58	11,6	8,7
3	1440	135	10,67	16	30	3346	0,50	89	17,8	13,4
4	1480	171	8,65	16	48	3513	0,49	143	28,5	21,4
5	1480	171	8,65	16	48	3513	0,49	143	28,5	21,4
6	1551	235	6,60	16	90	3807	0,49	268	53,7	40,3
7	1551	235	6,60	18	101	4283	0,49	302	60,4	45,3
8	1589	269	5,91	18	133	4460	0,49	395	79,0	59,2
9	1589	270	5,89	18	134	4459	0,49	398	79,5	59,7
10	1589	270	5,89	18	134	4459	0,49	398	79,5	59,7
11	1598	277	5,77	18	141	4502	0,48	418	83,7	62,8
12	1598	277	5,77	18	141	4502	0,48	418	83,7	62,8
13	1598	277	5,77	18	141	4502	0,48	418	83,7	62,8
14	1590	271	5,87	18	135	4464	0,49	401	80,1	60,1
15	1590	271	5,87	18	135	4464	0,49	401	80,1	60,1
16	1593	273	5,84	18	137	4478	0,48	407	81,3	61,0
17	1593	273	5,84	18	137	4478	0,48	407	81,3	61,0
18	1593	273	5,84	18	137	4478	0,48	407	81,3	61,0
19	1606	285	5,64	18	149	4538	0,48	443	88,5	66,4
20	1606	285	5,64	18	149	4538	0,48	443	88,5	66,4

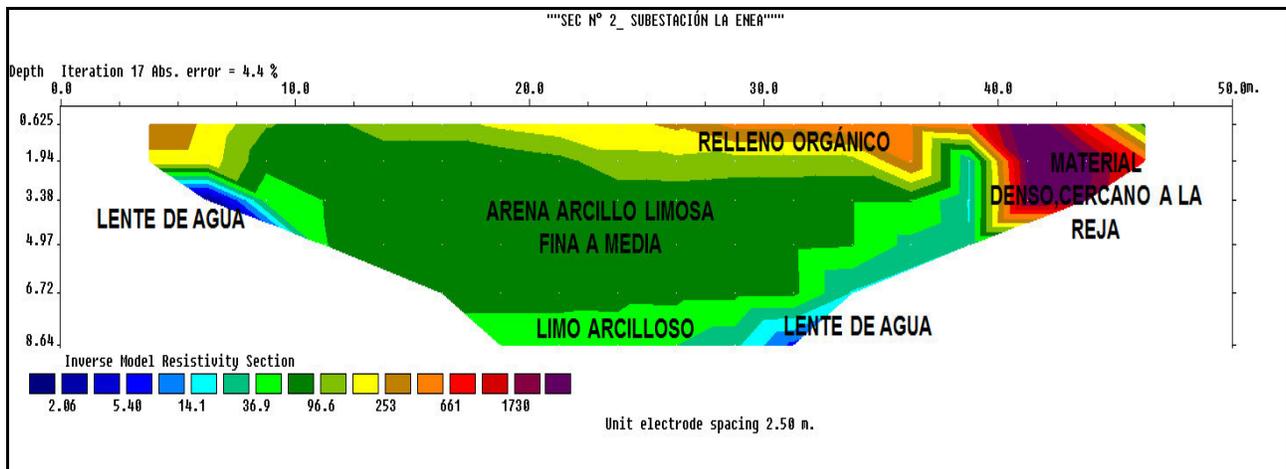
**Tabla N° 7. Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) – MAM3**

### 7.6 Sondeo Eléctrico Continuo

A continuación se exponen los resultados de las tomografías eléctricas realizadas en campo:



**Figura N° 4. Interpretación de SEC 1**



**Figura N° 5. Interpretación de SEC 2**

## **8 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO**

### **8.1 Sondeos realizados**

En el anexo 13.2 se encuentra la memoria de los sondeos realizados.

#### **8.1.1 Barreno manual 1**

Se encuentra un relleno orgánico de arena con gravas finas y partículas blancas, presenta densidad y humedad media, de color dominante café oscuro (10YR 3/3 según la clasificación de Munsell), en el ensayo de SPT presenta un número de golpes N que varía entre 4 – 6, el espesor del estrato es de 0,00 a 4,00m,

Seguidamente aparece una arena grano fino con partículas blancas (pómez) proveniente de las cenizas volcánicas, tal y como se observa en la siguiente figura, contiene densidad y humedad media, color café verdoso (10YR 4/6 según la clasificación de Munsell), en el ensayo de SPT presenta un numero de golpes N entre 5 y 10, el espesor de éste estrato es 4,00 a 7,00m.



***Figura N° 6. Fotografía tomada con lupa de muestra de 4.50-5.10m de profundidad***



Figura N° 7. Perfil estratigráfico Barreno Manual - S1

### 8.1.2 Apique / Barreno manual

Inicialmente se encuentra un estrato de relleno orgánico de arenas, restos de vestimenta y material aluvial de diámetro 0,5 a 30 cm aproximadamente sub-redondeadas a redondeadas en matriz limosa de grano fino a grueso sub-anguloso ha redondeado, consistencia media a blanda y humedad media, presenta color gris oscuro a negro (10YR 3/2 según la clasificación de Munsell), espesor del estrato es de 0,0 a 0,60m.



Figura N° 8. Material encontrado en Apique exploratorio de 0,00 a 0,60cm

A continuación se encuentra relleno orgánico de arena sub-redondeada a redondeada en matriz limosa de grano fino a grueso sub-anguloso a redondeado, consistencia media a blanda y humedad

media, de color negro a gris oscuro (10YR 3/2 según la clasificación de Munsell), el espesor para éste estrato es de 0,60 a 3,00m, de consistencia media a blanda y humedad media.

Seguidamente se encuentra un relleno compuesto por arena de grano fino en matriz limosa poco plástica, de densidad y humedad media con partículas blancas (cenizas volantes), presenta un color amarillo oscuro (10YR 4/6 según la clasificación de Munsell) con espesor de estrato de 3,00 a 4,20m, de café verdoso.

Finalmente de 4,20 a 5,00 m de perforación se encuentra un relleno de arena de grano fino no plástica con partículas blancas, presenta consistencia media a blanda y baja humedad, con color café claro (10YR 5/8, según la clasificación de Munsell), en el ensayo de SPT presenta un numero de golpes N que varía entre 4 y 5.



*Figura N° 9. Perfil estratigráfico del Apique con avance con barreno manual*

### 8.1.3 Barreno manual 2

Inicialmente aparece un relleno orgánico limo arcilloso plástico con algo de arena fina, presenta humedad y densidad media, de color negro (10YR 2/1 según la clasificación de Munsell), el espesor del estrato es entre 0,00 - 1,60m de profundidad aproximadamente.

Seguidamente se encuentra arena limosa de grano fino poco plástica, de densidad y humedad media a blanda, con color dominante gris claro (GLE Y1 5/5GY según la clasificación de Munsell), presenta un número de golpes N que varía entre 3-6, para el ensayo geofísico sísmica de refracción pasivo MAM para encontrar velocidades de corte oscila entre  $V_s = 425 - 430$  m/s, velocidades  $V_p = 850 - 860$  m/s, el espesor del estrato es entre 1,60m – 3,60 m de profundidad aproximadamente.

A continuación aparece un limo arcilloso con algo de arena fina, de consistencia y humedad media, el color varía entre gris y café (10YR 4/1 y 10YR 4/3 respectivamente, según la clasificación de Munsell), para el ensayo geofísico sísmica de refracción pasivo MAM para encontrar velocidades de corte oscila entre  $V_s = 425 - 430$  m/s, velocidades  $V_p = 850 - 860$  m/s, el espesor del estrato es entre 3,60 – 10,00 m de profundidad aproximadamente.



**Figura N° 10. Perfil estratigráfico Barreno Manual - S2**

## 9 RESULTADOS DE LABORATORIO

Se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados. En el Anexo 13.5, contiene las planillas detalladas de los ensayos de laboratorio realizados.

### 9.1.1 Resultados de laboratorio

EXPEDIENTE	COL-14-PGA-292-ET
CLIENTE	
OBRA	Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica Para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea en Manizales, Colombia

- **Límites de Atterberg**

A continuación se presenta una tabla resumen del laboratorio Límites de Atterberg para el Apique-Sondeo y sondeos 1 y 2

SONDEO/APIQUE	Ap	Ap	S1	S1	S2	S2	S2
MUESTRA	4	7	1	2	2	6	7
PROFUNDIDAD	2.00-2.50	4.00-5.00	0.00-1.00	1.00-2.50	1.00-2.10	5.90-7.00	7.00-8.00
Humedad Natural (%)	32.18	30.08	34.83	30.28	53.33	58.79	51.45
Límite Líquido (%)	NL	NL	NL	NL	NL	34.70	NL
Límite Plástico (%)	NP	NP	NP	NP	NP	19.40	NP
Índice de Plasticidad (%)	-	-	-	-	-	15.30	-
Clasificación USCS	-	-	-	-	-	CL	-

**Tabla N° 8. Resumen Límites de Atterberg – Apique, Sondeo N° 1 y 2**

- **Sulfatos**

A continuación se presenta una tabla resumen del de contenido de sulfatos SO<sub>4</sub> para el sondeo 1.

SONDEO	S1
MUESTRA	3
PROFUNDIDAD	1.00-2.500
Resultado [%]	0.0074

**Tabla N° 9. Resultado laboratorio de Sulfatos**

- **Granulometría por tamizado**

A continuación se presenta una tabla resumen del laboratorio de Granulometría por Tamizado sondeos 1 y 2

SONDEO/APIQUE	S2	S1	S2	S2
MUESTRA	8	5	3	4
PROFUNDIDAD	3.00-4.00	5.10-7.00	2.10-2.60	2.60-3.60
Grava (%)	0.40	12.80	0.00	0.00
Arena (%)	67.80	67.20	63.40	82.60
Finos (%)	31.80	20.0	36.60	17.40

**Tabla N° 10. Resumen Granulometría por tamizado**

## 10 ANÁLISIS

### 10.1 Cimentación Directa

La capacidad portante de una cimentación directa o superficial, se suele evaluar mediante la formulación propuesta por Terzaghi:

$$q_h = cN_c + q_0N_q + \frac{1}{2}(B\gamma N_\gamma)$$

Donde:

- $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ , se denominan factores de capacidad de carga y dependen del ángulo de rozamiento interno efectivo del suelo.
- $c$  es la cohesión del terreno.
- $q_0$  es la tensión vertical debida a la sobrecarga total de las tierras a nivel de cimentación.
- $B$  es el ancho de la cimentación.
- $\gamma$  es el peso específico del suelo por debajo de la cimentación.
- Para este estudio se han realizado dos estimaciones de capacidad portante del terreno en función de los materiales encontrados, tal como se presenta a continuación:

#### Rellenos:

En suelos de comportamiento con tendencia granular la capacidad portante suele encontrarse limitada por las condiciones de asiento, más que por la presión de hundimiento. Dada la dificultad en el muestreo de estos suelos, un método tradicional para el diseño de las cimentaciones consiste en el empleo de correlaciones empíricas más o menos directas con ensayos de penetración como el SPT y los resultados de la sísmica pasiva MAM, realizados para este estudio.

La capacidad portante, depende entre otros aspectos de la geometría, la tipología de la cimentación, la presencia de agua, aspectos sísmicos y los parámetros resistentes del terreno, etc., factores que han de ser analizados en cada situación particular. Los valores presentados son de carácter orientativo, en función de las hipótesis que se presentan a continuación:

$$q_d = 8 N_{SPT} \left[ 1 + \frac{D}{3B^*} \right] \left( \frac{S_t}{25} \right) \left( \frac{B^* + 0,3}{B^*} \right)^2 \text{ kN/m}^2$$

Donde,

- St El asiento total admisible, en mm.
- N<sub>spt</sub> Valor medio de los resultados del ensayo de SPT.
- D Desplante de la cimentación en el terreno.
- q<sub>d</sub> Capacidad portante cimentaciones directas en suelos granulares.

<b>SUBESTACIÓN LA ENEA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE KPa</b>									
BxL [m] Df [m]	1,0x1,0	1,5x1,5	2,0x2,0	2,5x2,5	3,0x3,0	3,5x3,5	4,0x4,0	4,5x4,5	5,0x5,0
1	72	69	71	74	77	82	86	91	96
1,5	81	81	85	90	97	104	111	118	126
1,8	87	88	93	100	108	117	126	135	144
2	90	92	99	107	116	126	136	146	156
2,2	94	97	104	114	124	135	145	157	168
2,5	99	104	113	124	136	148	160	173	186

**Tabla N° 11. Capacidad portante orientativa cimentación directa en suelos y rellenos**

## 10.2 Cimentación Profunda

La estimación de la capacidad portante de una cimentación profunda por fuste, se representa mediante una expresión general de la tensión tangencial q<sub>f</sub>, que produce el agotamiento de la resistencia por el fuste del pilote o Micropilote, está definida por:

$$q_f = c' a + \sigma' h \tan \delta'$$

En donde:

- $\sigma' h$  tensión efectiva horizontal.  $\sigma' h = K_0 \sigma' v$ .
- $\delta'$  ángulo de rozamiento terreno-pilote.
- $c' a$  adherencia efectiva entre el terreno el pilote o Micropilote.
- Arcillas sobreconsolidadas:  $K_0 = (1 - \sin \Phi') \text{OCR} \sin \Phi$ .
- Arcillas normalmente consolidadas:  $q_f = (1 - \sin \Phi) \sigma' v \tan \delta'$ .
- Suelos Granulares:  $q_f = K \sigma' v \tan \delta'$ .

Para el análisis del rozamiento lateral de un Micropilote se emplea la Teoría de Lizzi, cuya tabla resumen se presenta a continuación:

SUELO	RESISTENCIA FRICCIONAL (KPa)
<b>Arcilla blanda</b>	<b>10 – 30</b>
Arcilla dura	65 – 85
Arcilla muy dura	130 – 170
Arena arcillosa suelta	50 – 70

*Tabla N° 12. Rozamiento lateral para micropilotes. Teoría Lizzi.*

### 10.3 Asentamientos

La ecuación para calcular la compresión sobre una capa de suelo ith debajo de la cimentación, teniendo el espesor h, surge de la definición del módulo de deformación Eoed:

$$s_i = \sum \frac{\sigma_{z,i} \cdot h_i}{E_{oed,i}}$$

Donde:

- $\sigma_{z,i}$             componente vertical de la tensión incremental por capa analizada.
- $h_i$                 espesor de la capa de capa ith.
- $E_{oed,i}$             Módulo edométrico de la capa ith.

El módulo edométrico Eoed, puede ser especificado por cada suelo incluso como constante o con la ayuda de una curva edométrica (relación  $\sigma_{ef}/\epsilon$ ). Para este análisis se asume para cada capa el valor de Eoed correspondiente a un rango determinado de tensión original y final.

SUELO	MÓDULO EDMÉTRICO (MPa)
Grava	60 – 600
Arenas de densidad media a arenas densas	7 – 130
Arcillas	2 – 30

*Tabla N° 13. Valores aproximados de módulo edométrico de deformación. Teoría Vaníček.*

## 10.4 Potencial de licuefacción

Se ha realizado una comprobación simplificada del potencial de licuefacción, empleando el método de Seed e Idriss (1971) y Seed e Idriss revisado por Youd e Idriss (2001).

### 10.4.1 Método de Seed e Idriss (1971)

La estimación de la razón tangencial cíclica CSR (cyclic shear stress ratio), se realiza mediante la siguiente expresión:

$$CSR = \frac{\tau_{cm}}{\sigma'_v} = 0,65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{a_{max}}{g} r_d$$

Donde,

- $\tau_{cm}$ : Esfuerzo cortante cíclico medio
- $\sigma_v$ : Tensión efectiva
- $a_{max}$ : Aceleración máxima
- $g$ : aceleración de la gravedad
- $r_d$ : factor de reducción de profundidad

$$CSR = 0,65 * (4,0/3,0) * (0,25) * (0,4) = 0,09$$

Determinación del  $(N_1)_{60}$ , el cual corresponde al valor del SPT normalizado para una presión aproximada de 100kPa y una energía eficaz de golpeo del 60%, tal como se presenta a continuación:

$$(N_1)_{60} = N C_N C_E C_B C_R C_S$$

Donde,

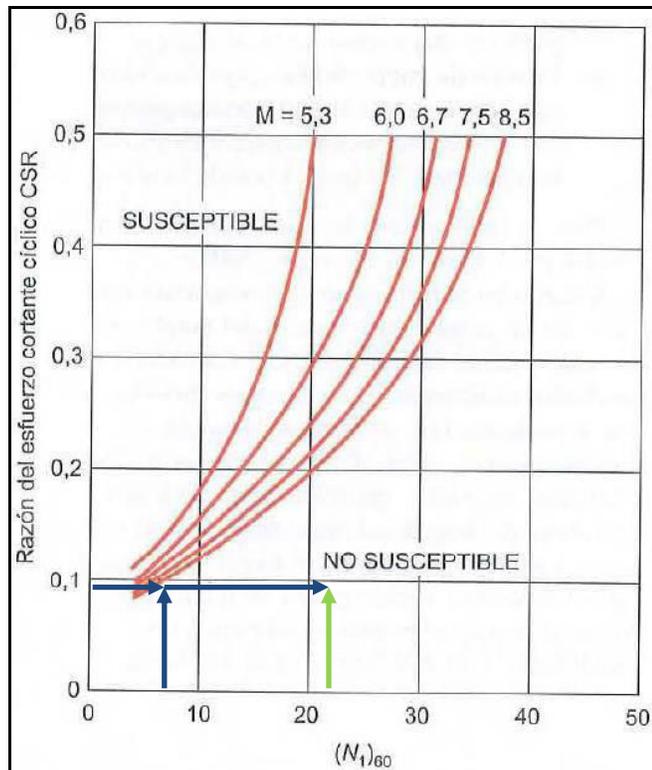
- $N$ : Número de golpes del SPT
- $C_N$ :  $(P_a/\sigma_v)^{0,5}$

- P<sub>a</sub>: Presión atmosférica
- C<sub>E</sub>: Energía de golpeo
- C<sub>B</sub>: Influencia del diámetro del sondeo
- C<sub>R</sub>: Influencia de la longitud del varillaje
- C<sub>S</sub>: Toma muestras estándar

$$(N)_{60} = 5 * 1,5 * 1,2 * 1,0 * 0,85 * 1,0 = 7,65$$

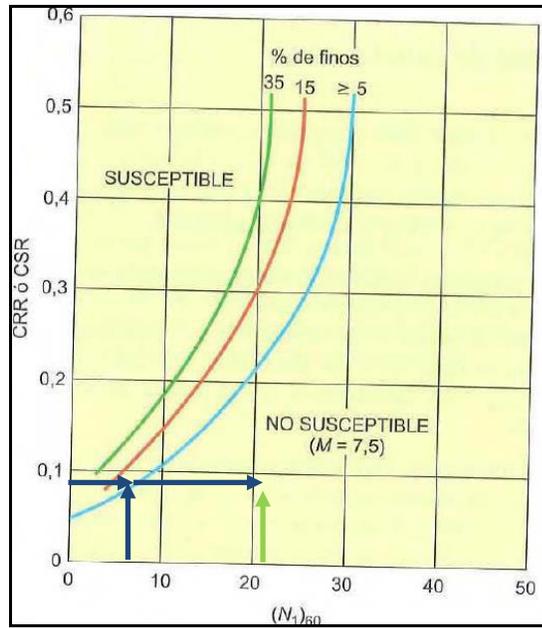
$$(N)_{60} = 15 * 1,5 * 1,2 * 1,0 * 0,85 * 1,0 = 22,95$$

Ingresando el CSR para un valor de N<sub>60</sub>, en la siguiente figura elaborada por (HO et al., 1986), se obtiene que, para la aceleración de sismo establecida por la NSR-10 en la zona de proyecto y los suelos encontrados, el potencial de licuefacción es bajo.



**Figura N° 11.CSR Vs N60 (HO et al., 1986)**

Ingresando el CSR para un valor de  $N_{60}$ , en la siguiente figura elaborado por (Youd e Idriss, 2001), se obtiene que, para la aceleración de sismo establecida por el NSR-10 en la zona de proyecto y los suelos encontrados, el potencial de licuefacción en la zona de rellenos oscila entre medio a alto.



**Figura N° 12.CSR Vs  $N_{60}$  (Youd e Idriss, 2001)**

## 11 CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones preliminares obtenidas a partir de los trabajos de campo y actividades de análisis para estudio:

- ✓ La campaña geotécnica fue realizada en el periodo comprendido entre el 16 de Octubre al 21 de Octubre del 2015, se inicia con una visita a la zona de estudio mediante un recorrido geológico. Posteriormente, se procede a realizar, tres (3) ensayos de geofísica MAM abarcando una profundidad de 30m y dos SEC o tomografía eléctrica. Para la exploración directa del terreno se realizaron las siguientes actividades: Un apique a 1,0m de profundidad con avance mediante barreno manual hasta 5,0m y dos (2) barrenos manuales a 7,0 y 10,0m respectivamente, esta exploración del subsuelo se enfocó en la obtención de muestras directas para ser analizadas en laboratorio, complementados por métodos de geofísica para recolección de datos de forma indirecta, esto con el fin de obtener información del suelo en las zona donde se proyecta la ampliación de la subestación.
- ✓ El tipo de suelo explorado está constituido por un relleno de depósitos aluviales posiblemente por la deposición de material de los ríos o cuencas encontrados en sus cercanías este material fue encontrado a una profundidad de los primeros 0,60cm del apique, Sin embargo, en otras zonas se presentan rellenos de arena limoarcillosa poco densas hasta los 5,00 metros aproximadamente, se destaca que en éste material de relleno se encontró restos de ropa, por lo que se cree que el material fue depositado de otro lugar; seguidamente de limos arcillosos de consistencia media a dura color café.
- ✓ La zona de estudio según el NSR-10 cuenta con los siguientes coeficientes de aceleración sísmica (basados en la ciudad más cercana):

Ciudad	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica
Manizales	0,25	0.25	Alta

*Tabla N°. Coeficientes de aceleración sísmica para la ciudad de Manizales, Caldas*

- ✓ Según los estudios geofísicos realizados en campo a partir de las velocidades de onda  $V_s$ , el suelo se clasifica como  $E$  los 5 primeros metros en promedio, a partir de dicha profundidad se clasifica como suelos tipo  $D$  hasta los 30 metros de estudio, (Véase la tabla A.2.4-1 de NSR 10).
- ✓ Se han detectado niveles de agua en las exploraciones realizadas, las cuales, se presentan a continuación:

SONDEO	LONGITUD	NIVEL FREÁTICO	FECHA
	(m)	(m)	
AP	1,00 a 5,00 (Hoyador)	1,50	15/10/2015
BM_1	7,00	3,00	16/10/2015
BM_2	10,00	1,80	17/09/2015

*Tabla. Niveles de agua en sondeos.*

- ✓ Ingresando el CSR para un valor de  $N_{60}$ , en la siguiente figura elaborado por (Youd e Idriss, 2001), se obtiene que, para la aceleración de sismo establecida por el NSR-10 en la zona de proyecto y los suelos encontrados, el potencial de licuefacción en la zona de rellenos oscila entre medio a alto.
- ✓ Para la determinación del contenido de Ión Sulfato presente en el suelo dónde se apoyarán las estructuras, se empleó la norma INVIAS INV-233, es de 0.0074% de  $SO_4$  en suelo, lo cual, corresponde a una categoría de exposición: S0, sin afectación sobre el concreto.
- ✓ Grado de expansión: según el “Artículo E-132-07 de la Norma INVIAS – Determinación de suelos expansivos,” para la determinación de suelos expansivos y los resultados de laboratorio obtenidos en las muestras de suelo recopiladas, los suelos en sus primeros metros de perforación se obtiene un grado de expansión bajo.

Grado de expansión	LL	IP	$\tau_{nat}^{(tst)}$
Elevado	>60	>35	>383
Marginal	50-60	25-35	144-383
Bajo	<50	<25	<144

**Tabla. Potencial expansivo en los suelos (I.N.V E-132-07)**

- ✓ Para la cimentación de estructuras en la zona de estudio, se requiere el retiro de material orgánico o rellenos con sobretamaños, y realizar una preparación de la superficie de trabajo mediante una base compactada sobre una geotextil de separación no tejido. Se recomienda proyectar cimentaciones superficiales acompañadas de micropilotes los cuales actuarán como elementos de control de asentamientos. La zapata debe tener la presión de contacto con el terreno según lo indicado en la tabla adjunta y los micropilotes pueden diseñarse con un rozamiento lateral de 10 KPa para la zona de rellenos y de 30KPa para suelo natural. Con este tipo de cimentación se esperan asentamientos menores de 2,4cm en varios años.

SUBESTACIÓN LA ENEA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE KPa									
BxL [m] Df [m]	1,0x1,0	1,5x1,5	2,0x2,0	2,5x2,5	3,0x3,0	3,5x3,5	4,0x4,0	4,5x4,5	5,0x5,0
1	72	69	71	74	77	82	86	91	96
1,5	81	81	85	90	97	104	111	118	126
1,8	87	88	93	100	108	117	126	135	144
2	90	92	99	107	116	126	136	146	156
2,2	94	97	104	114	124	135	145	157	168
2,5	99	104	113	124	136	148	160	173	186

**Tabla. Capacidad portante orientativa cimentación directa en suelos y rellenos**

Finalmente, Ingeosolum Colombia pone a su disposición todos los recursos para ampliar o aclarar cualquier aspecto de los temas tratados en este informe de trabajos de campo.

Este informe ha sido realizado en Bogotá, a los 9 días del mes de Noviembre del 2015.

Fdo:

Javier A. Sierra Galeano

Ingeniero Civil

Ingeosolum Colombia

---

## 12 RECOMENDACIONES PRELIMINARES

La presente propuesta, presenta las medidas y prácticas que recomendamos llevar a cabo en forma concurrente a las actividades operativas:

- ***Control de erosión***

La erosión es un fenómeno que comprende el desprendimiento, el transporte y el depósito de los componentes del suelo. Los elementos que causan directamente la erosión se denominan agentes erosivos, siendo los principales el agua, el viento, el clima y la fuerza de gravedad. La intensidad con que se manifiesta, depende de una serie de factores, que a su vez y en última instancia, dependen de la geología y el clima de la región considerada, además, desde que el hombre existe debe añadirse el factor antrópico.

El proceso de “erosión” hace que sea necesario introducir un Plan de Control de Erosión, cuya aplicación minimizará los riesgos de derrumbes y erosión superficial a que estarán expuestos los taludes de las plataformas, introduciendo, para ello, medidas correctivas, mediante la desviación y captación de aguas, la interposición de barreras de vegetación y estructuras de ingeniería. Las medidas básicas, tomadas en cuenta en el mencionado Plan, pueden llevarse a cabo con poco personal y con materiales procedentes del desbroce de vegetación, minimizando así los costos y tiempo en el transporte de materiales foráneos.

Durante las actividades de mantenimiento, las estructuras de control de erosión serán reforzadas y/o se adicionarán de acuerdo con los requerimientos geotécnicos considerados por los especialistas, bajo la supervisión del cliente.

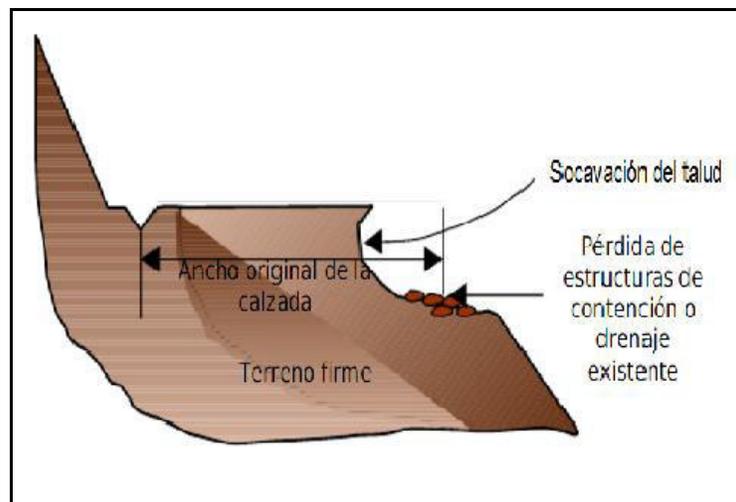
Las acciones que se recomiendan son:

- i. Delimitar las áreas de desbroce a lo mínimo posible.
- ii. Minimizar el tiempo de exposición de suelos desnudos a la acción erosiva de las lluvias, en lo posible despejar el área en módulos de trabajo secuenciales.

iii. Atrapar los sedimentos después de que han sido desprendidos por acción del agua y del viento.

- **Falla de borde**

Es una falla de borde con pérdida de parte de la superficie del talud o cuando se produce una disminución drástica del ancho original de la calzada entre otras, a continuación se observa un ejemplo de la falla de borde.



**Figura N° 13. Ejemplo de falla de borde**

Falla localizada en el costado Sur de la Subestación la Enea (Camino a la cancha deportiva de fútbol):

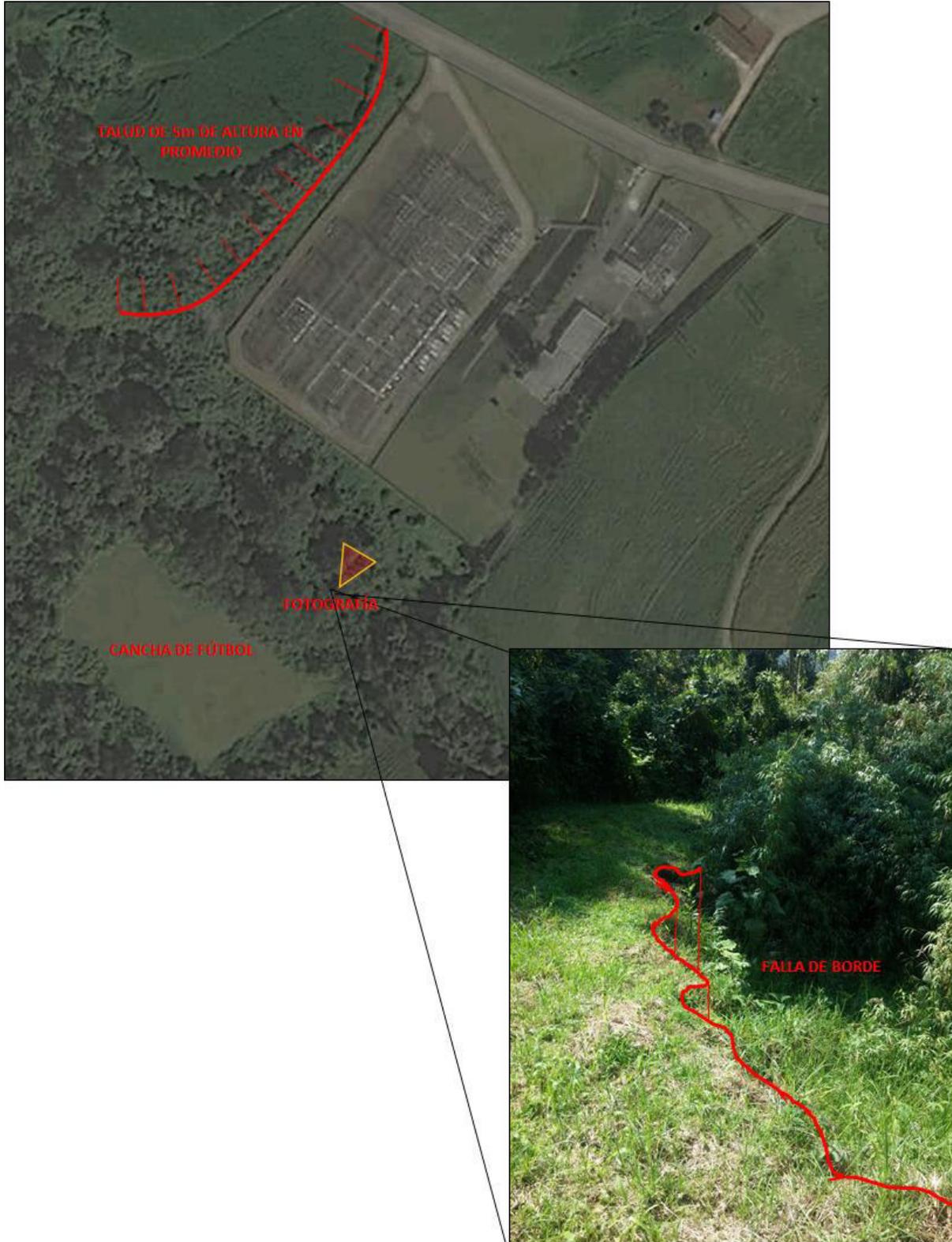


Figura N° 14. Falla de borde localizada

## **13 ANEXOS**

### **13.1 Plano de ubicación de trabajos realizados**

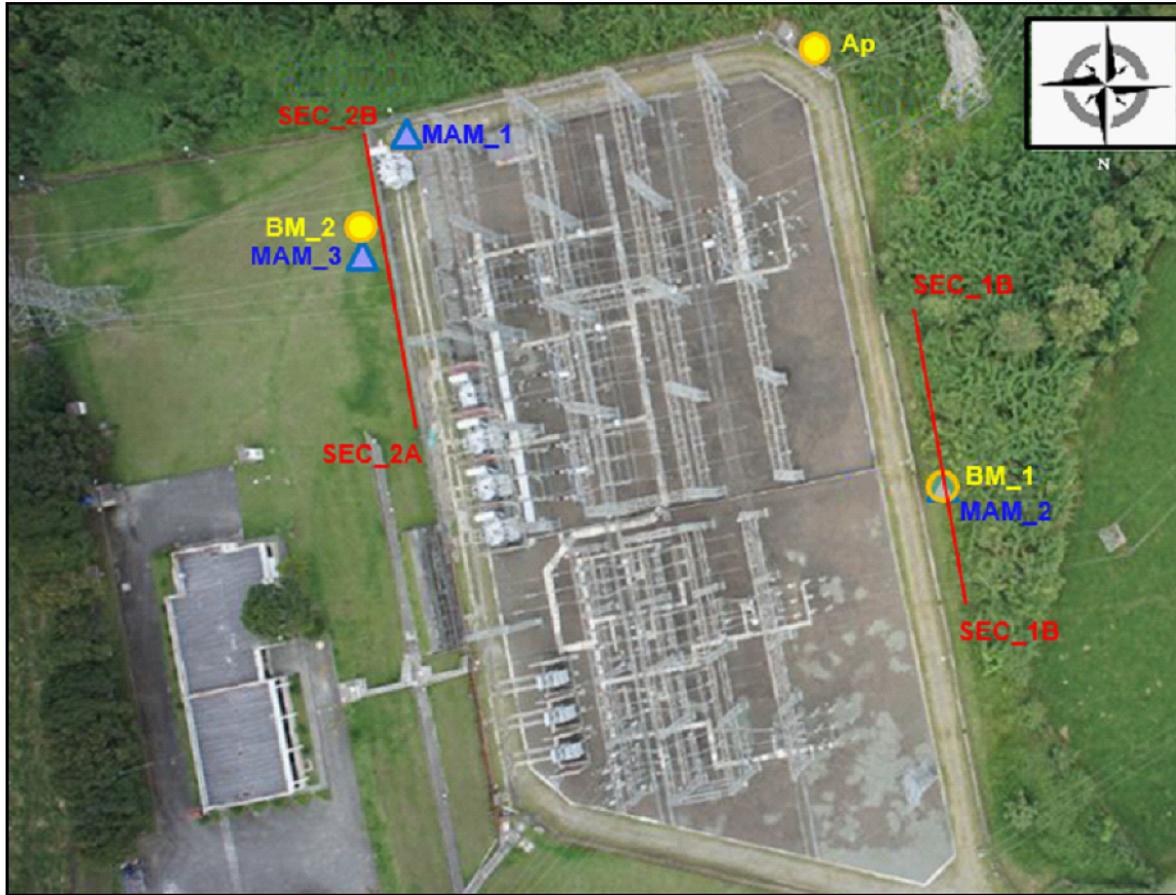


Imagen: Localización de Trabajos - Subestación eléctrica La Enea

Ensayo	Coordenadas UTM 18 N		
	Punto	Este	Norte
BM 1	1D	449207	554880
BM 2	1D	449235	554781
AP	1D	446166	554818
SEC_1	A	449230	554917
	B	449188	554860
SEC_2	A	449256	554803
	B	449226	554767
MAM_1	1D	449240	554780
MAM_2	1D	449235	554781
MAM_3	1D	449222	554777

Tabla: Coordenadas de Trabajos Realizados



**INGEOSOLUM**

INGEOSOLUM COLOMBIA SAS  
 Carrera 19a # 90-13 Of. 302  
 5107216-646825  
 Bogotá-Colombia  
 ingeosolum@ingeosolum.com.co  
 www.ingeosolum.co.co

**PROYECTO:**  
 Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica "La Enea", Manizales, Caldas, Colombia

**CONTENIDO:**  
 Localización de los trabajos realizados con coordenadas.

**EQUIPO EMPLEADO:**  
 - Telurómetro.  
 - Equipo geofísica MAM.

**CONVENCIONES:**  
 — Sondeo Eléctrico Continuo  
 ▲ MAM  
 ● Barreno Manual / Apique-Barreno

**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

	NOMBRE	FIRMA
Elaboró:	INGEOSOLUM	
Revisó:	JAS	
Aprobó:	IZ-JAS	
Dibujó:	KLM	
TOPOGRAFO:	-	
PROYECTO:	COL-15-PGA-416-ET	
FECHA:	OCT-2015	PLANO: 1/1
PLANO No: 1 TRABAJOS REALIZADOS	ESCALA: SIN ESCALA	REV. 0

## 13.2 Memoria de sondeos

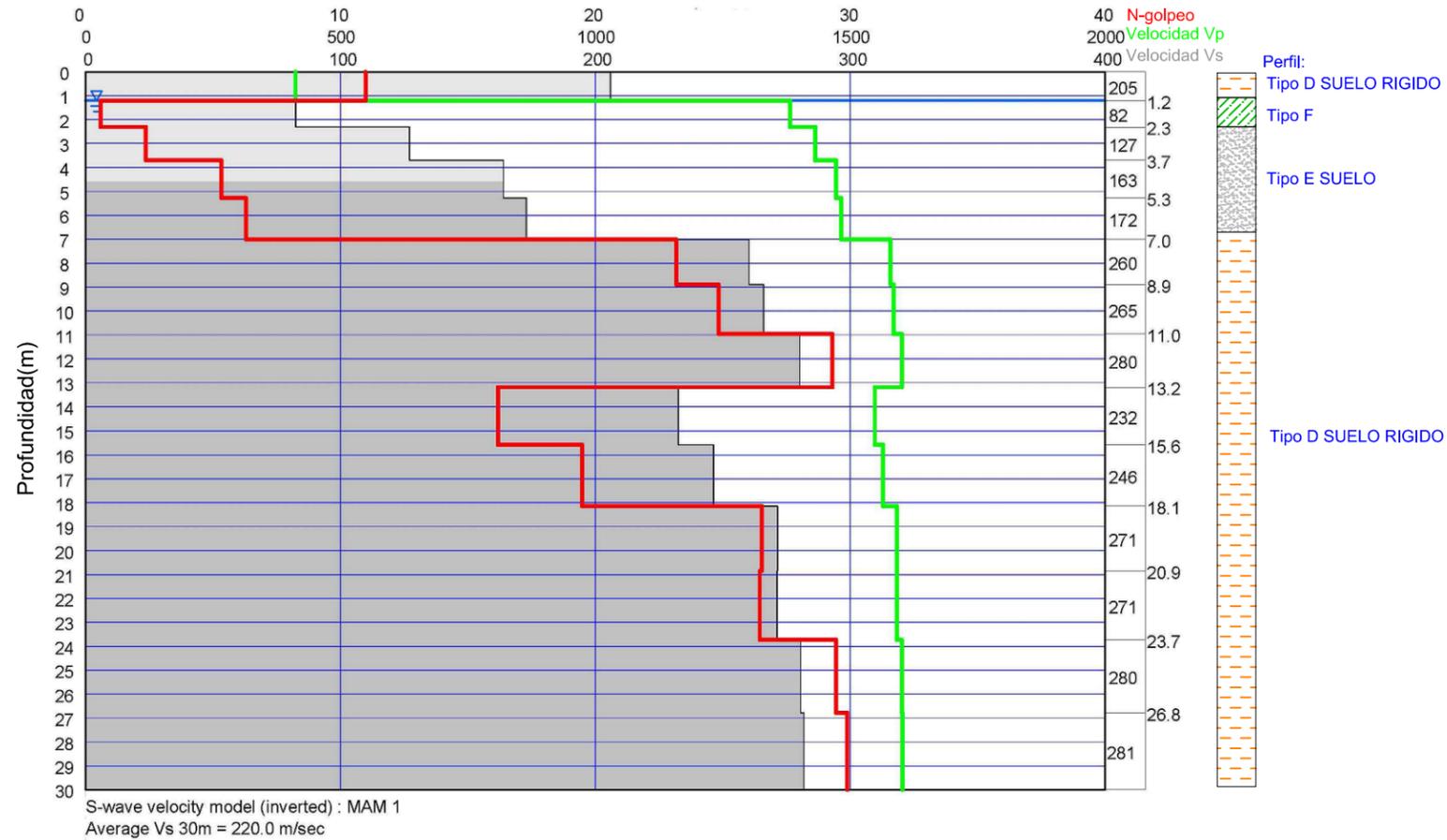






### 13.3 Planos perfiles MAM

# MODELO DE REFRACCION DE MICROTREMORES MAM 1



## Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) Línea: MAM 1

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	p (kN/m3)	Gmax (MPa)	Kmax (Mpa)	v	E <sub>max</sub> (MPa)	E <sub>fs</sub> (MPa)	E <sub>fi</sub> (MPa)
1	411	205	2.00	17	73	196	0.33	195	38.9	29.2
2	1381	82	16.84	16	11	3099	0.50	33	6.6	4.9
3	1431	127	11.27	16	26	3308	0.50	79	15.8	11.8
4	1472	163	9.03	16	43	3480	0.49	130	25.9	19.4
5	1472	163	9.03	16	43	3480	0.49	130	25.9	19.4
6	1481	172	8.61	18	54	3956	0.49	162	32.5	24.3
7	1481	172	8.61	18	54	3956	0.49	162	32.5	24.3
8	1578	260	6.07	18	124	4408	0.49	369	73.8	55.4
9	1585	265	5.98	18	129	4442	0.49	383	76.6	57.5
10	1585	265	5.98	18	129	4442	0.49	383	76.6	57.5
11	1600	280	5.71	18	144	4510	0.48	427	85.5	64.1
12	1600	280	5.71	18	144	4510	0.48	427	85.5	64.1
13	1600	280	5.71	18	144	4510	0.48	427	85.5	64.1
14	1548	232	6.67	18	99	4270	0.49	294	58.9	44.1
15	1548	232	6.67	18	99	4270	0.49	294	58.9	44.1
16	1563	246	6.35	18	111	4339	0.49	331	66.1	49.6
17	1563	246	6.35	18	111	4339	0.49	331	66.1	49.6
18	1563	246	6.35	18	111	4339	0.49	331	66.1	49.6
19	1591	271	5.87	18	135	4469	0.49	401	80.1	60.1
20	1591	271	5.87	18	135	4469	0.49	401	80.1	60.1

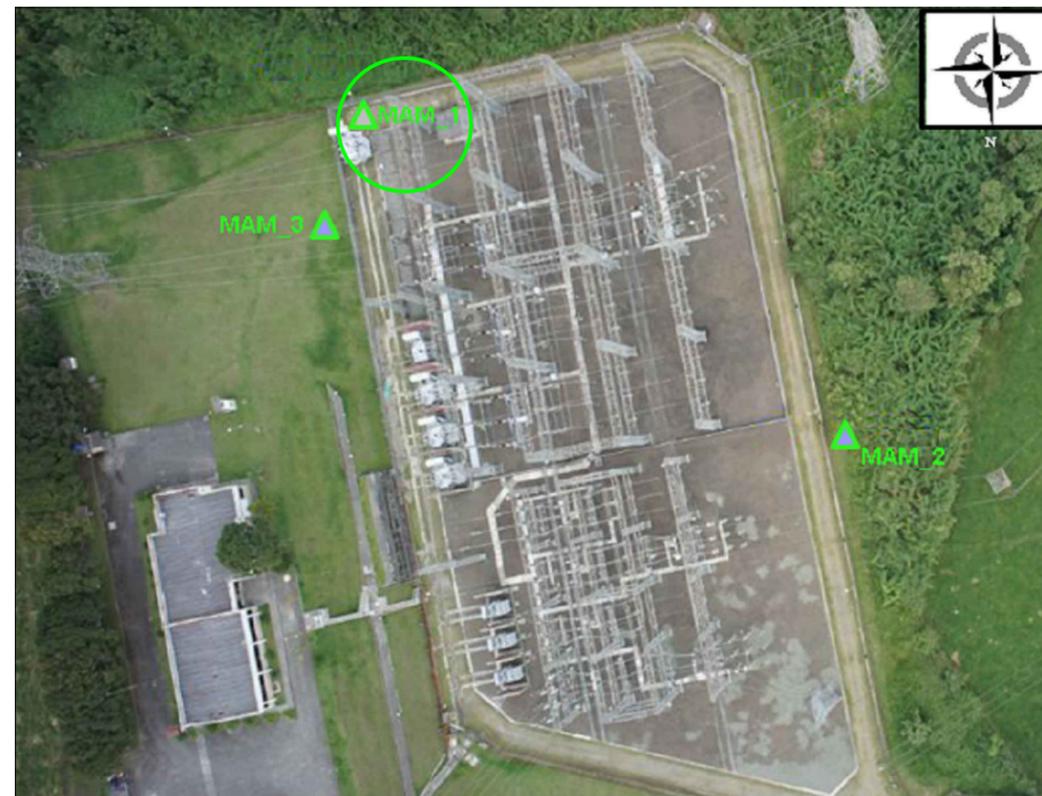
### Notas:

- i) G<sub>max</sub> y E<sub>max</sub> - Módulos equivalentes a pequeñas deformaciones de corte (<10<sup>-3</sup>%) (Small Strain)
- ii) v, E<sub>fs</sub>(frontera superior), E<sub>fi</sub>(frontera inferior) estimados para el análisis geotécnico de cimentaciones directas (deformación de corte (>0.1%))
- iii) Los valores de esta tabla son el resultado de interpretación geotécnica

TABLA A.2.4-1  
CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELO

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s > $\bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_{u1} \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_{u1} \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180$ m/s > $\bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% $50$ kPa ( $\approx 0.50$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_{u1}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F <sub>1</sub> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F <sub>2</sub> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F <sub>3</sub> — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F <sub>4</sub> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

## PLANO DE UBICACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO



PROYECTO:  
ESTUDIO GEOFISICO PARA LA  
AMPLIACION DE LA SUBSTACION LA  
Enea, MANIZALES, CALDAS

CONTENIDO:  
PERFIL GEOFISICO MAM  
TABLA DE MODULOS POR SISMICA  
TABLA DE RANGOS DE VELOCIDAD Vs  
UBICACION GENERAL

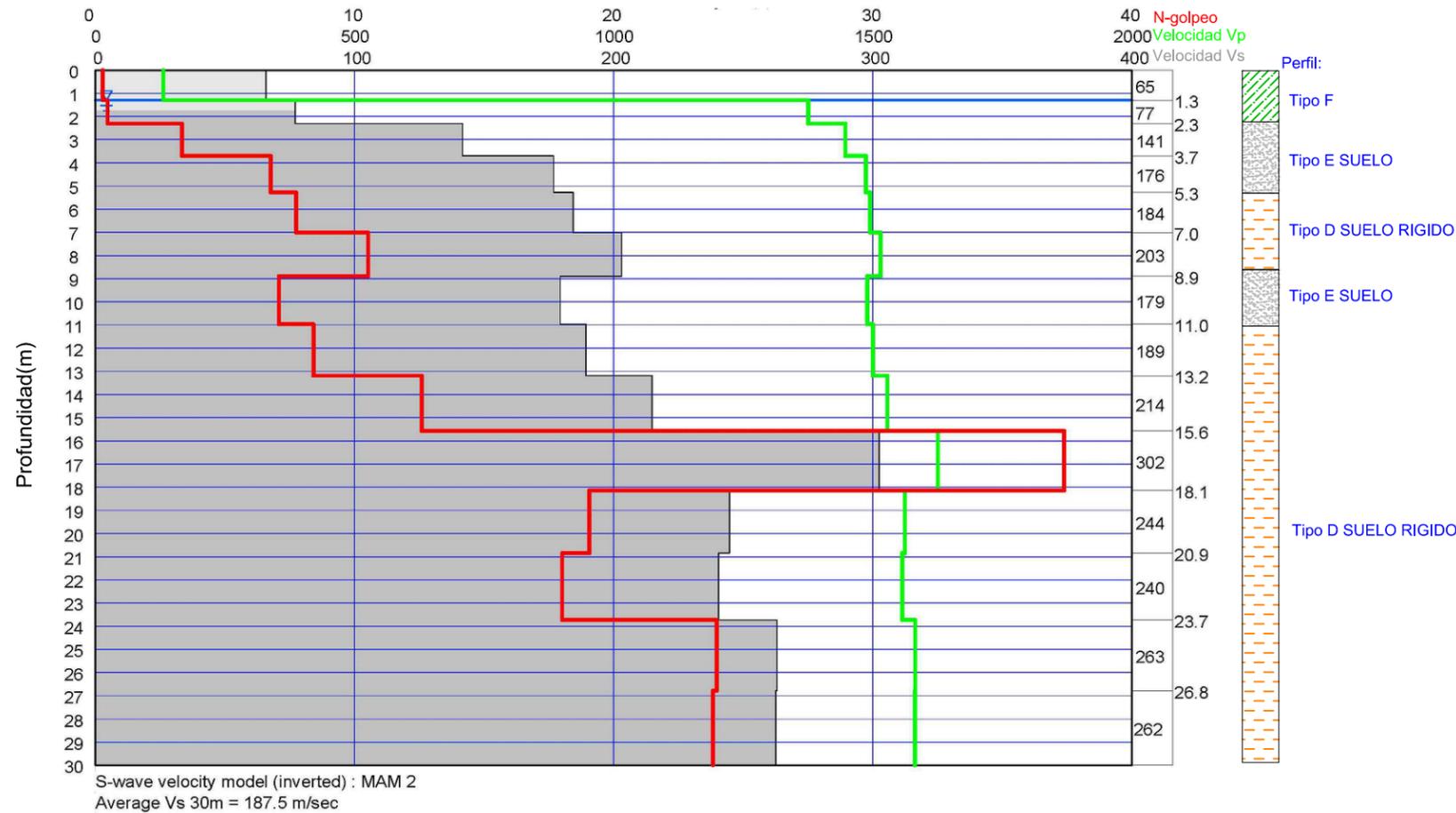
EQUIPO EMPLEADO:  
- Sismógrafo

CONVENCIONES:  
MAM

OBSERVACIONES:

	NOMBRE	FIRMA
Elaboró:	INGEOSOLUM	
Diseño:	INGEOSOLUM	
Revisó:	JAS	
Aprobó:	IZ-JAS	
Dibujó:	JH	
PROYECTO:	COL-15-PGA-416-ET	
FECHA:	OCT.-2015	PLANO: 1/3
PLANO No:	MAM 1	ESCALA: SIN ESCALA REV. 0

# MODELO DE REFRACCION DE MICROTREMORES MAM 2



## Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs)

Línea: MAM 2

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	p (kN/m <sup>3</sup> )	Gmax (MPa)	Kmax (Mpa)	v	E <sub>max</sub> (MPa)	E <sub>f</sub> (MPa)	E <sub>f</sub> (MPa)
1	131	65	2.02	15	6	18	0.34	17	3.5	2.6
2	1375	77	17.86	15	9	2882	0.50	27	5.4	4.1
3	1447	141	10.26	16	32	3375	0.50	97	19.4	14.6
4	1486	176	8.44	16	51	3538	0.49	151	30.2	22.6
5	1486	176	8.44	16	51	3538	0.49	151	30.2	22.6
6	1494	184	8.12	16	55	3570	0.49	165	33.0	24.7
7	1494	184	8.12	16	55	3570	0.49	165	33.0	24.7
8	1515	203	7.46	18	76	4115	0.49	226	45.1	33.9
9	1489	179	8.32	16	52	3550	0.49	156	31.2	23.4
10	1489	179	8.32	16	52	3550	0.49	156	31.2	23.4
11	1500	189	7.94	16	58	3596	0.49	174	34.8	26.1
12	1500	189	7.94	18	66	4045	0.49	196	39.2	29.4
13	1500	189	7.94	18	66	4045	0.49	196	39.2	29.4
14	1528	214	7.14	18	84	4176	0.49	251	50.1	37.6
15	1528	214	7.14	18	84	4176	0.49	251	50.1	37.6
16	1625	302	5.38	18	168	4627	0.48	497	99.3	74.5
17	1625	302	5.38	18	168	4627	0.48	497	99.3	74.5
18	1625	302	5.38	18	168	4627	0.48	497	99.3	74.5
19	1561	244	6.40	18	109	4330	0.49	325	65.1	48.8
20	1561	244	6.40	18	109	4330	0.49	325	65.1	48.8

### Notas:

- i) G<sub>max</sub> y E<sub>max</sub> - Módulos equivalentes a pequeñas deformaciones de corte (<10<sup>-3</sup>%) (Small Strain)
- ii) v, E<sub>f</sub>(frontera superior), E<sub>f</sub>(frontera inferior) estimados para el análisis geotécnico de cimentaciones directas (deformación de corte (>0.1%))
- iii) Los valores de esta tabla son el resultado de interpretación geotécnica



PROYECTO:  
ESTUDIO GEOFISICO PARA LA AMPLIACION DE LA SUBSTACION LA ENEA, MANIZALES, CALDAS

CONTENIDO:  
PERFIL GEOFISICO MAM  
TABLA DE MODULOS POR SISMICA  
TABLA DE RANGOS DE VELOCIDAD Vs  
UBICACION GENERAL

EQUIPO EMPLEADO:  
- Sismógrafo

CONVENCIONES:  
○ MAM

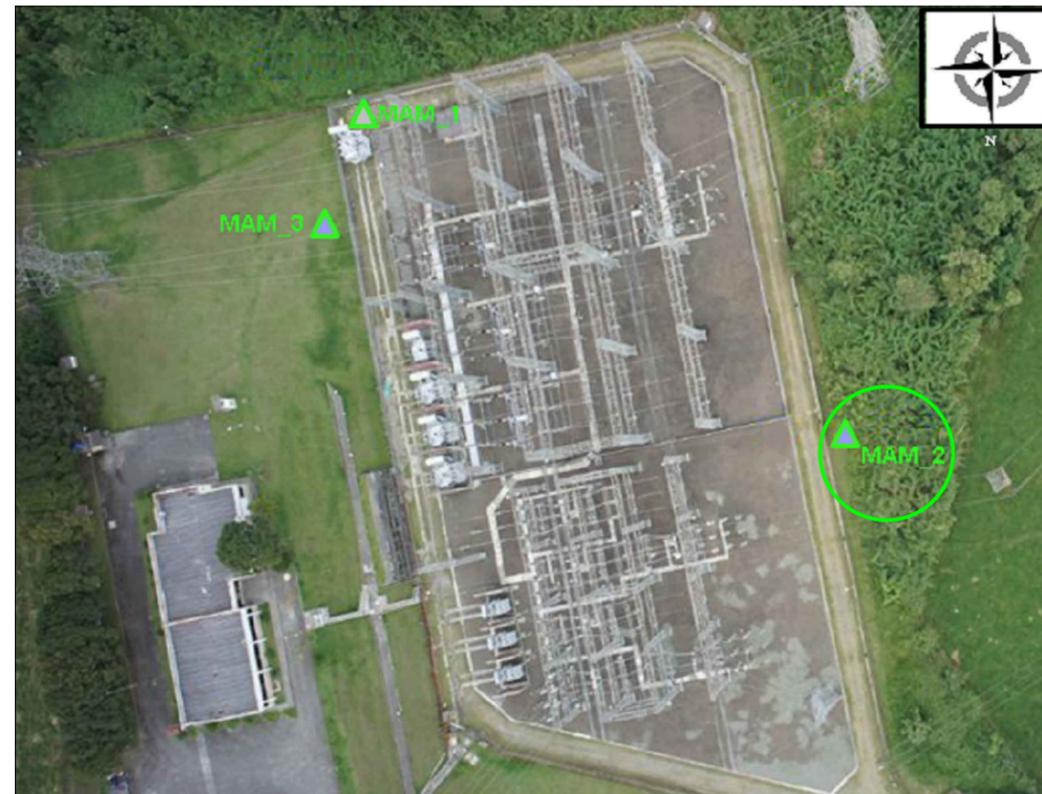
OBSERVACIONES:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

	NOMBRE	FIRMA
Elaboró:	INGEOSOLUM	
Diseñó:	INGEOSOLUM	
Revisó:	JAS	
Aprobó:	IZ-JAS	
Dibujó:	JH	
PROYECTO:	COL-15-PGA-416-ET	
FECHA:	OCT.-2015	PLANO: 2/3
PLANO No:	MAM 2	ESCALA: SIN ESCALA
		REV. 0

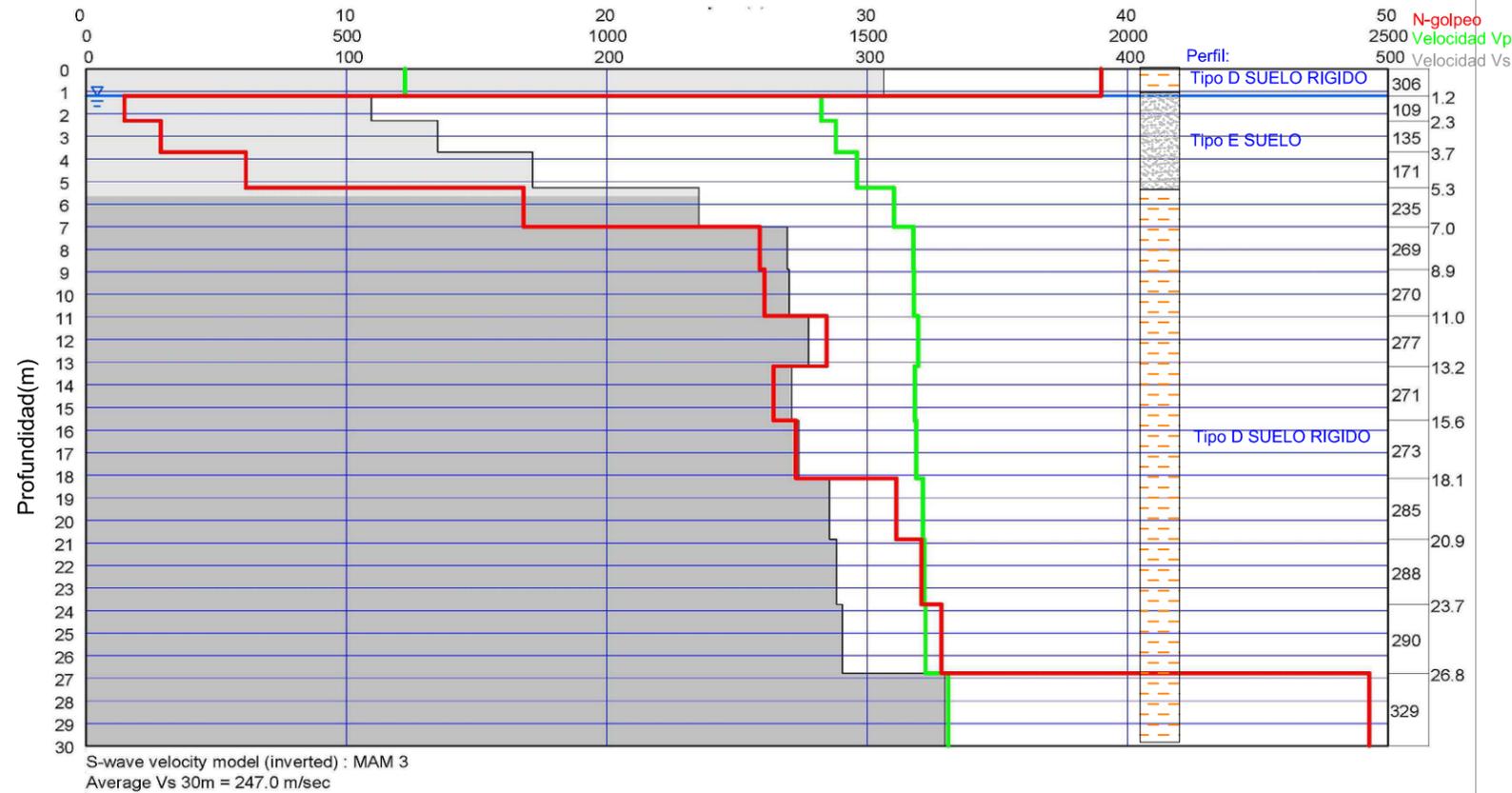
TABLA A.2.4-1  
CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELO

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s > $\bar{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s > $\bar{V}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_{u1} \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s > $\bar{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_{u1} \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180$ m/s > $\bar{V}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% $50$ kPa ( $\approx 0.50$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_{u1}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F <sub>1</sub> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F <sub>2</sub> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F <sub>3</sub> — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F <sub>4</sub> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

PLANO DE UBICACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO



# MODELO DE REFRACCION DE MICROTREMORES MAM 3



## Determinación de Módulos en base a Sísmica de Refracción (Vp) + MAM (Vs) Línea: MAM 3

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	p (kN/m <sup>3</sup> )	Gmax (MPa)	Kmax (Mpa)	v	Emax (MPa)	Efs (MPa)	Efi (MPa)
1	612	306	2.00	18	172	459	0.33	459	91.7	68.8
2	1411	109	12.94	16	19	3225	0.50	58	11.6	8.7
3	1440	135	10.67	16	30	3346	0.50	89	17.8	13.4
4	1480	171	8.65	16	48	3513	0.49	143	28.5	21.4
5	1480	171	8.65	16	48	3513	0.49	143	28.5	21.4
6	1551	235	6.60	16	90	3807	0.49	268	53.7	40.3
7	1551	235	6.60	18	101	4283	0.49	302	60.4	45.3
8	1589	269	5.91	18	133	4460	0.49	395	79.0	59.2
9	1589	270	5.89	18	134	4459	0.49	398	79.5	59.7
10	1589	270	5.89	18	134	4459	0.49	398	79.5	59.7
11	1598	277	5.77	18	141	4502	0.48	418	83.7	62.8
12	1598	277	5.77	18	141	4502	0.48	418	83.7	62.8
13	1598	277	5.77	18	141	4502	0.48	418	83.7	62.8
14	1590	271	5.87	18	135	4464	0.49	401	80.1	60.1
15	1590	271	5.87	18	135	4464	0.49	401	80.1	60.1
16	1593	273	5.84	18	137	4478	0.48	407	81.3	61.0
17	1593	273	5.84	18	137	4478	0.48	407	81.3	61.0
18	1593	273	5.84	18	137	4478	0.48	407	81.3	61.0
19	1606	285	5.64	18	149	4538	0.48	443	88.5	66.4
20	1606	285	5.64	18	149	4538	0.48	443	88.5	66.4

**Notas:**  
 i) Gmax y Emax - Módulos equivalentes a pequeñas deformaciones de corte (<10<sup>-3</sup>%) (Small Strain)  
 ii) v, Efs(frontera superior), Efi(frontera inferior) estimados para el análisis geotécnico de cimentaciones directas (deformación de corte (>0.1%))  
 iii) Los valores de esta tabla son el resultado de interpretación geotécnica

INGEOSOLUM  
 INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOTECNICA  
 Carrera 19a # 90-13 Of 302  
 5107216-6469625  
 Bogotá-Colombia  
 ingeosolum@ingeosolum.com.co  
 www.ingeosolum.co.co

**PROYECTO:**  
 ESTUDIO GEOFISICO PARA LA  
 AMPLIACION DE LA SUBESTACION LA  
 ENEA, MANIZALES, CALDAS

**CONTENIDO:**  
 PERFIL GEOFISICO MAM  
 TABLA DE MODULOS POR SISMICA  
 TABLA DE RANGOS DE VELOCIDAD Vs  
 UBICACION GENERAL

**EQUIPO EMPLEADO:**  
 - Sismógrafo

**CONVENCIONES:**  
 MAM

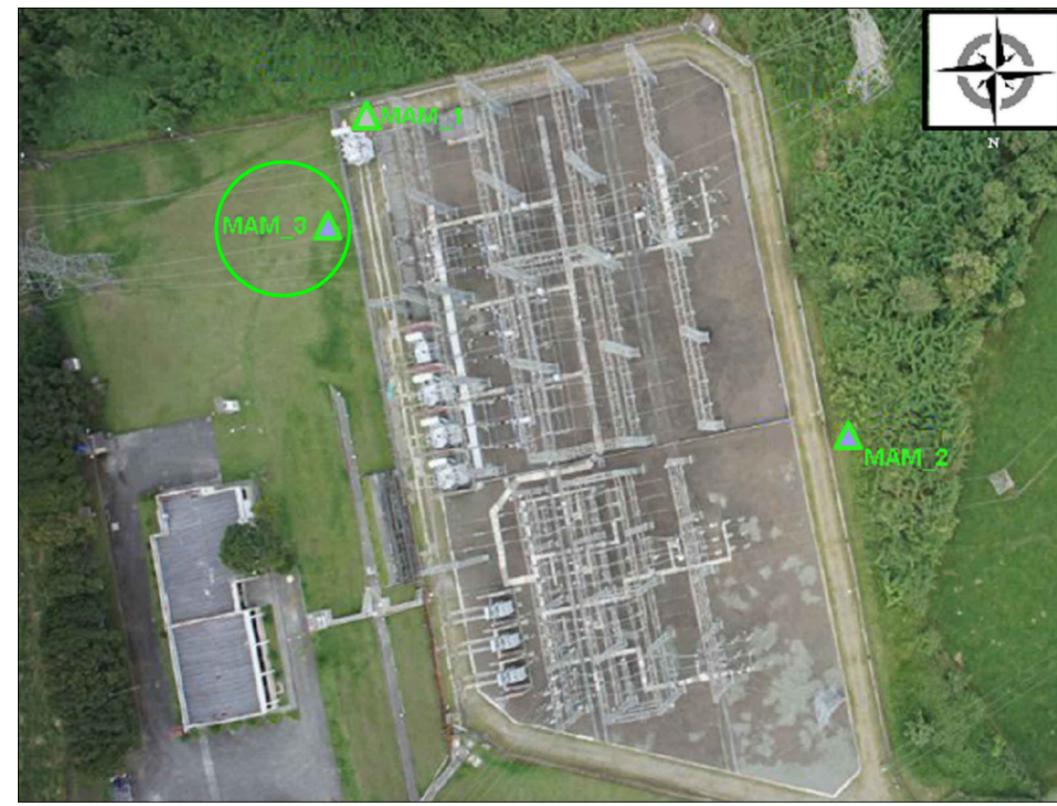
**OBSERVACIONES:**

	NOMBRE	FIRMA
Elaboró:	INGEOSOLUM	
Diseñó:	INGEOSOLUM	
Revisó:	JAS	
Aprobó:	IZ-JAS	
Dibujó:	JH	
PROYECTO:	COL-15-PGA-416-ET	
FECHA:	OCT.-2015	PLANO: 3/3
PLANO No:	MAM 3	ESCALA: SIN ESCALA
		REV. 0

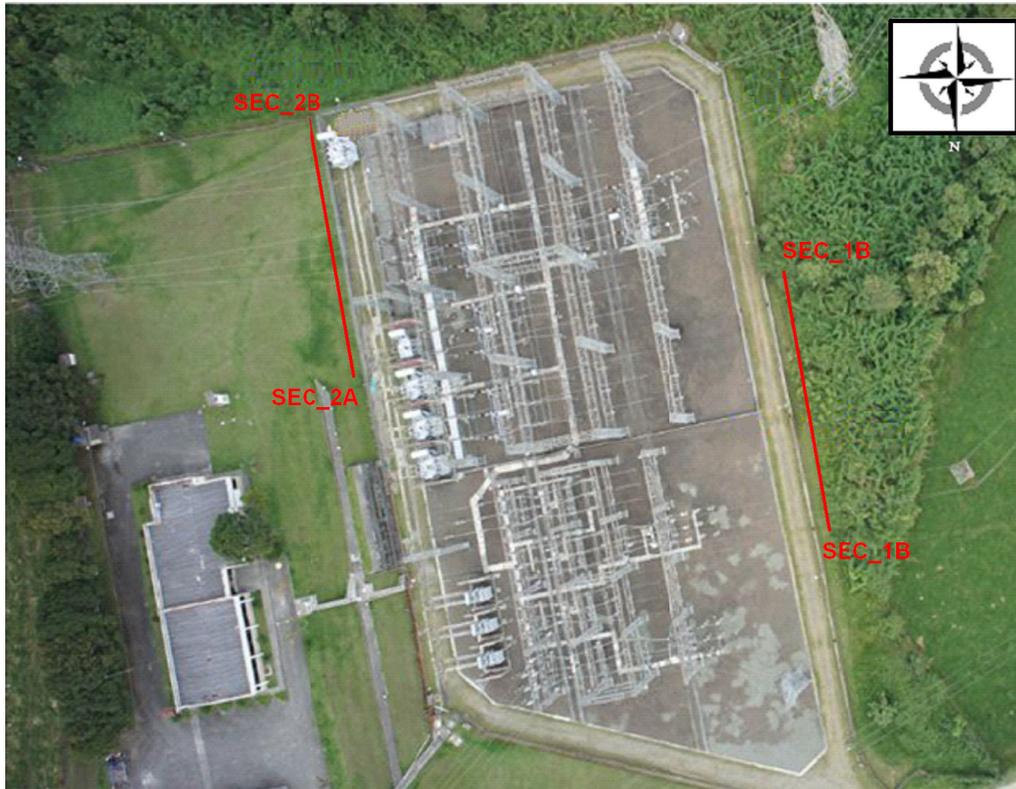
TABLA A.2.4-1  
 CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELO

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s > $\bar{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s > $\bar{V}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_{u1} \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s > $\bar{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_{u1} \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180$ m/s > $\bar{V}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50$ kPa ( $\approx 0.50$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_{u1}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F <sub>1</sub> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F <sub>2</sub> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F <sub>3</sub> — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F <sub>4</sub> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

PLANO DE UBICACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO



#### 13.4 Perfiles SEC



Gráfica N°1. UBICACIÓN SEC

MATERIAL	RESISTIVIDAD (Ωm)	DENSIDAD (Kg/m3)
Aguas dulces superficiales	10 - 10 <sup>2</sup>	1000
Aguas marinas	0.1 - 1	1030
Basamento. Roca	1500 - 10 <sup>3</sup>	2500
Gravas	300 - 2000	2700
Calizas y areniscas	100 - 1000	2400
Arenas	300 - 700	1550 - 1800
Limos	5 - 200	1400 - 1550
Arcillas	1 - 40	1350 - 1450

Tabla N°1. Propiedades de los materiales



**PROYECTO:**  
 Estudio Geofísico de Ingeniería Básica Para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

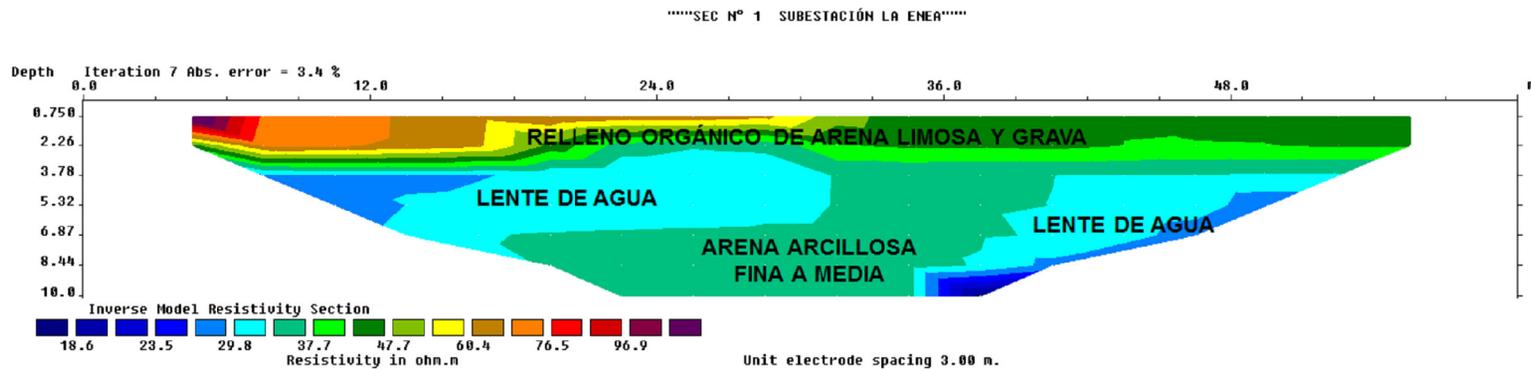
**CONTENIDO:**  
 Ubicación del sitio de estudio, Tomografía eléctrica o SEC.

**EQUIPO EMPLEADO:**  
 - Telurómetro.  
 - Software de interpretación.

**CONVENCIONES:**

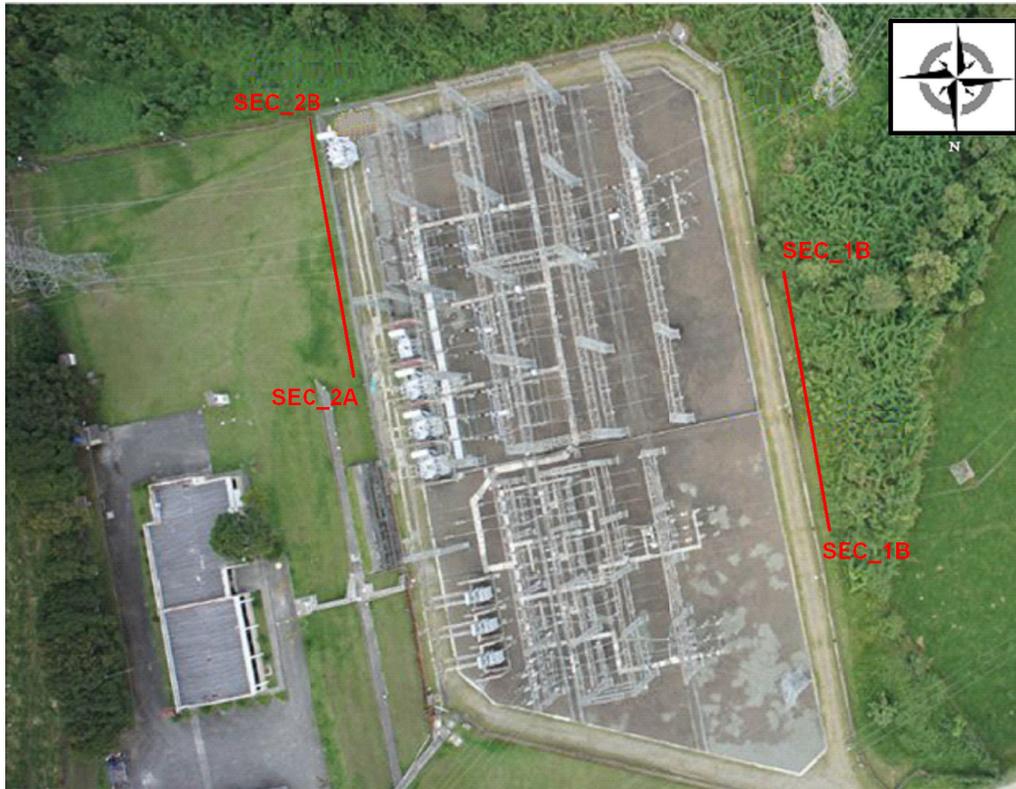
— Sonda Eléctrica Continuo o SEC  
 — Tomografía Eléctrica

**OBSERVACIONES:**



Gráfica N°2. Perfil geoelectrico SEC N°1

	NOMBRE	FIRMA
Elaboró:	INGEOSOLUM	
Diseñó:	INGEOSOLUM	
Revisó:	JAS	
Aprobó:	IZ-JAS	
Dibujó:	KLM	
PROYECTO:	COL-15_PGA-416-ET	
FECHA:	16/10/2015	PLANO: 1/2
PLANO No:	SEC_1	ESCALA: SIN ESCALA
		REV. 0



Gráfica N°1. UBICACIÓN SEC

MATERIAL	RESISTIVIDAD (Ωm)	DENSIDAD (Kg/m3)
Aguas dulces superficiales	10 - 10 <sup>2</sup>	1000
Aguas marinas	0.1 - 1	1030
Basamento. Roca	1500 - 10 <sup>3</sup>	2500
Gravas	300 - 2000	2700
Calizas y areniscas	100 - 1000	2400
Arenas	300 - 700	1550 - 1800
Limos	5 - 200	1400 - 1550
Arcillas	1 - 40	1350 - 1450

Tabla N°1. Propiedades de los materiales

  
**INGEOSOLUM**  
 INGENIERIA GEOELECTRICA  
 Carrera 19a # 90-13 Of 302  
 5107216-6469625  
 Bogotá-Colombia  
 ingeosolum@ingeosolum.com.co  
 www.ingeosolum.co.co

**PROYECTO:**  
 Estudio Geofísico de Ingeniería Básica Para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

**CONTENIDO:**  
 Ubicación del sitio de estudio, Tomografía eléctrica o SEC.

**EQUIPO EMPLEADO:**  
 - Telurómetro.  
 - Software de interpretación.

**CONVENCIONES:**

 Sonda Eléctrica Continuo o SEC  
 Tomografía Eléctrica

**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

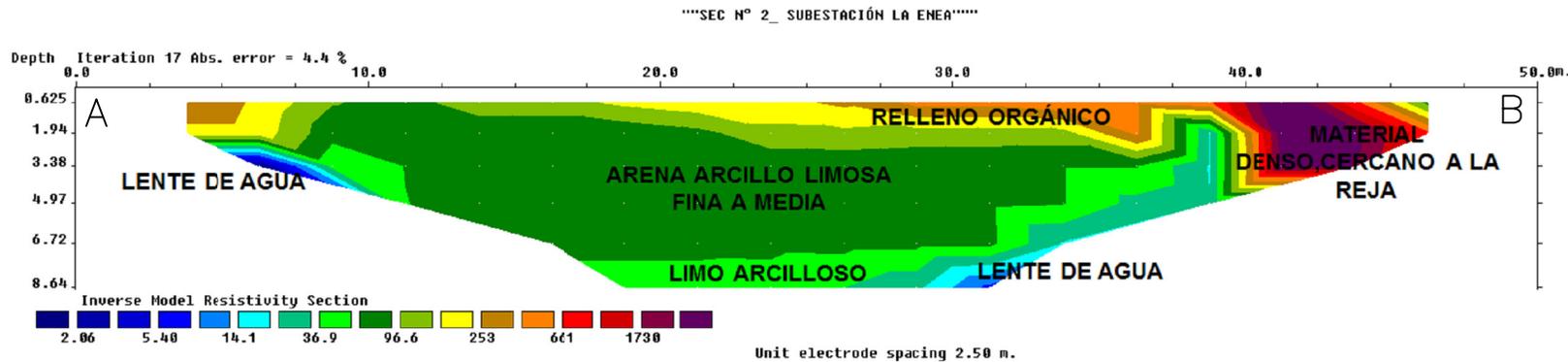
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

	NOMBRE	FIRMA
Elaboró:	INGEOSOLUM	
Diseñó:	INGEOSOLUM	
Revisó:	JAS	
Aprobó:	IZ-JAS	
Dibujó:	KLM	
PROYECTO:	COL-15-PGA-416-ET	
FECHA:	17/10/2015	PLANO: 2/2
PLANO No:	SEC_2	ESCALA: SIN ESCALA
		REV: 0



Gráfica N°2. Perfil geoelectrico SEC N°2

### 13.5 Laboratorios

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**



**PROYECTO:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica Para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

**FECHA:** 28/10/2015

**UBICACIÓN** SUBESTACIÓN ELÉCTRICA LA ENEA **SONDEO:**

Ap
----

**CLIENTE:**

1	<b>SONDEO No.</b>	<b>Ap</b>	<b>Ap</b>				
2	<b>MUESTRA No.</b>	M4	M7				
3	<b>PROFUNDIDAD [m]</b>	2,00-2,50	4,00-5,00				

5	<b>TARA No.</b>	V2	V2				
6	<b>TARA + SUELO HUMEDO [gr]</b>	109,30	115,70				
7	<b>TARA + SUELO SECO [gr]</b>	91,70	97,50				
8	<b>PERDIDA DE HUMEDAD</b>	17,60	18,20				
9	<b>PESO DE LA TARA [gr]</b>	37,00	37,00				
10	<b>PESO DEL SUELO SECO [gr]</b>	54,70	60,50				
11	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ( % )</b>	32,18%	30,08%				

INGEOSOLUM

INGEOSOLUM

ELABORADO

APROBADO

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**



**PROYECTO:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica Para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

**FECHA:** 28/10/2015

**UBICACIÓN** SUBESTACIÓN ELÉCTRICA LA ENEA **SONDEO:**

<b>S1</b>
-----------

**CLIENTE:**

<b>1</b>	<b>SONDEO No.</b>	<b>S1</b>	<b>S1</b>	<b>S1</b>				
<b>2</b>	<b>MUESTRA No.</b>	M1	M2	M6				
<b>3</b>	<b>PROFUNDIDAD [m]</b>	0,00-1,00	1,00-2,50	5,00-7,00				

<b>5</b>	<b>TARA No.</b>	V2	T1	V2				
<b>6</b>	<b>TARA + SUELO HUMEDO [gr]</b>	91,20	66,50	103,10				
<b>7</b>	<b>TARA + SUELO SECO [gr]</b>	77,20	56,60	89,30				
<b>8</b>	<b>PERDIDA DE HUMEDAD</b>	14,00	9,90	13,80				
<b>9</b>	<b>PESO DE LA TARA [gr]</b>	37,00	23,90	37,00				
<b>10</b>	<b>PESO DEL SUELO SECO [gr]</b>	40,20	32,70	52,30				
<b>11</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ( % )</b>	34,83%	30,28%	26,39%				

INGEOSOLUM

ELABORADO

INGEOSOLUM

APROBADO

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_

.....

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**



**PROYECTO:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica Para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

**FECHA:** 28/10/2015

**UBICACIÓN** SUBESTACIÓN ELÉCTRICA LA ENEA **SONDEO:** S2 **CLIENTE:**

1	<b>SONDEO No.</b>	S2	S2	S2	S2	S2		
2	<b>MUESTRA No.</b>	M1	M2	M6	M7	M9		
3	<b>PROFUNDIDAD [m]</b>	0,00-1,00	1,00-2,10	5,90-7,00	7,00-8,00	9,00-10,00		

5	<b>TARA No.</b>	T1	V2	V2	T1	V2		
6	<b>TARA + SUELO HUMEDO [gr]</b>	85,00	50,80	121,00	60,40	81,70		
7	<b>TARA + SUELO SECO [gr]</b>	62,30	46,00	89,90	48,00	61,10		
8	<b>PERDIDA DE HUMEDAD</b>	22,70	4,80	31,10	12,40	20,60		
9	<b>PESO DE LA TARA [gr]</b>	23,90	37,00	37,00	23,90	37,00		
10	<b>PESO DEL SUELO SECO [gr]</b>	38,40	9,00	52,90	24,10	24,10		
11	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ( % )</b>	59,11%	53,33%	58,79%	51,45%	85,48%		

INGEOSOLUM

INGEOSOLUM

ELABORADO

APROBADO

OBSERVACIONES:

---



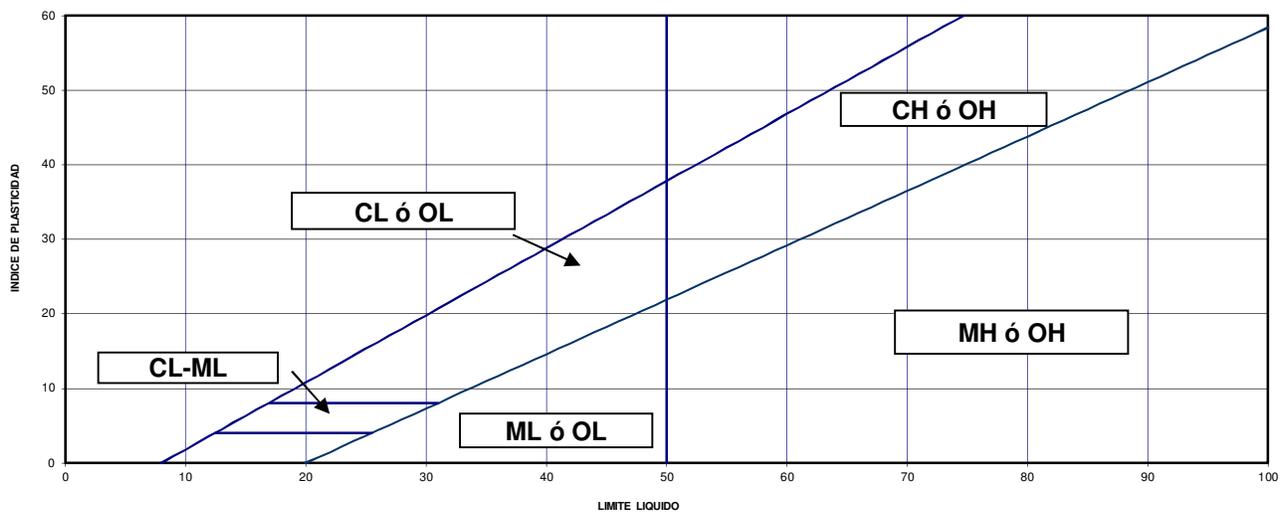
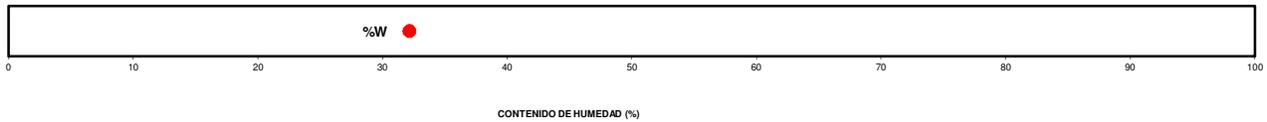
---

**LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN  
NORMA ASTM D 4318-10**

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **SONDEO Ap** M4 2,00-2,50m  
**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 10/11/2015  
**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

(LL) NL  
 (LP) NP  
 (IP) -  
 (%W) 32,18

RELACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD



Preparado por:  
INGEOSOLUM

Revisado por:  
INGEOSOLUM

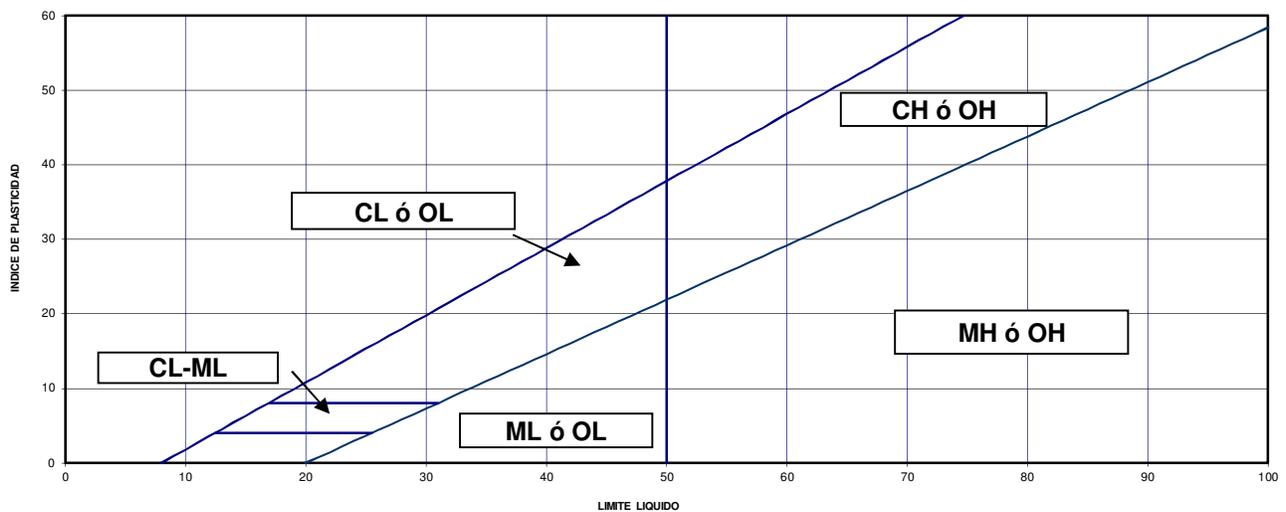
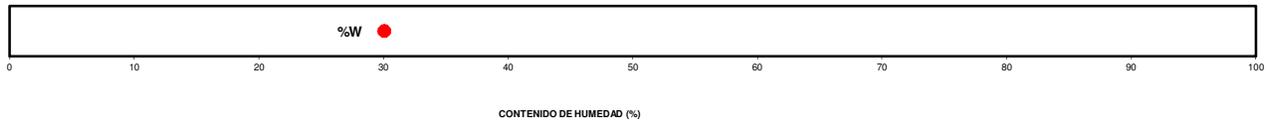
Aprobado por:  
INGEOSOLUM

**LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN  
NORMA ASTM D 4318-10**

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **SONDEO Ap** M7 4,00-5,00m  
**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 10/11/2015  
**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

(LL) NL  
 (LP) NP  
 (IP) -  
 (%W) 30,08

RELACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD



Preparado por:  
INGEOSOLUM

Revisado por:  
INGEOSOLUM

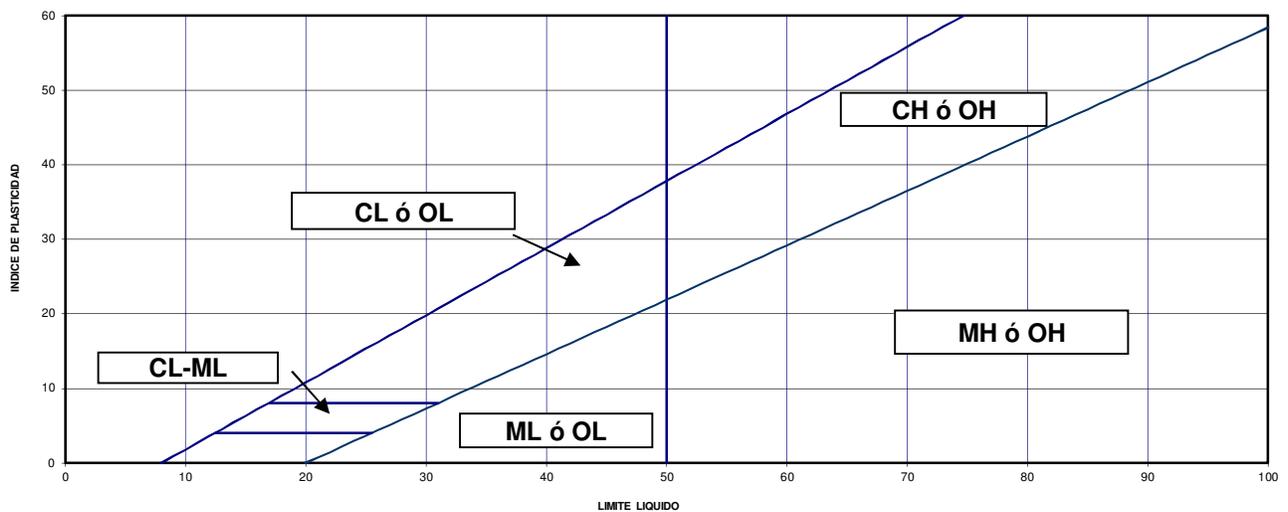
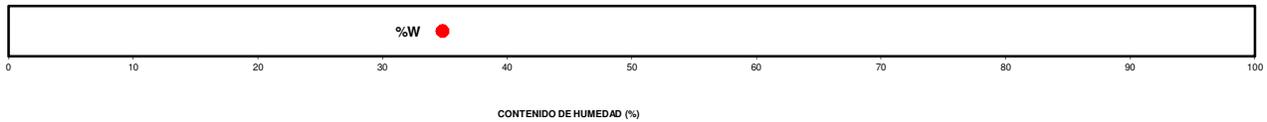
Aprobado por:  
INGEOSOLUM

LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN  
NORMA ASTM D 4318-10

EXPEDIENTE: COL-15-PGA-416-ET SONDEO S1 M1 0,00-1,00m  
 PETICIONARIO: FECHA: 10/11/2015  
 OBRA: Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

(LL) NL  
 (LP) NP  
 (IP) -  
 (%W) 34,83

RELACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD



Preparado por:  
INGEOSOLUM

Revisado por:  
INGEOSOLUM

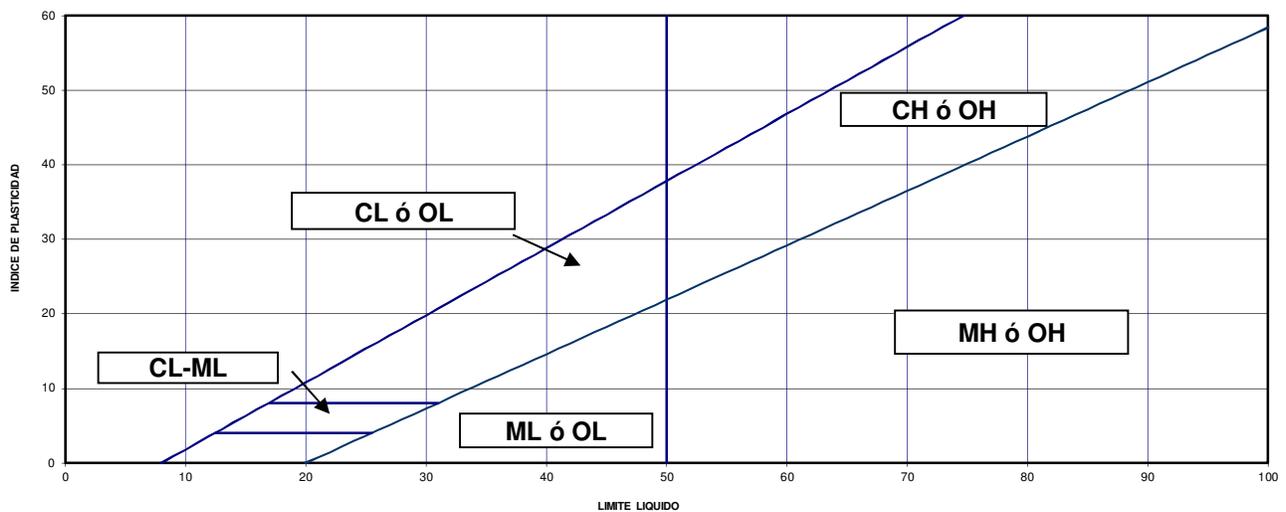
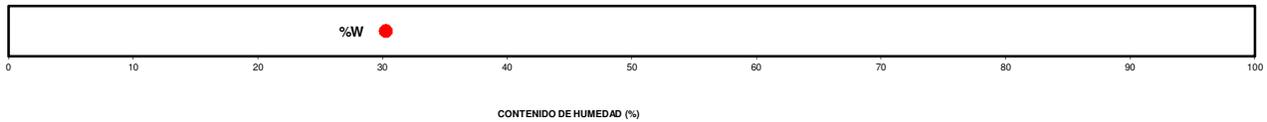
Aprobado por:  
INGEOSOLUM

**LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN  
NORMA ASTM D 4318-10**

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **SONDEO S1** M2 1,00-2,50m  
**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 10/11/2015  
**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

(LL) NL  
 (LP) NP  
 (IP) -  
 (%W) 30,28

RELACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD



Preparado por:  
INGEOSOLUM

Revisado por:  
INGEOSOLUM

Aprobado por:  
INGEOSOLUM

**LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN  
NORMA ASTM D 4318-10**

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **SONDEO 2** M2 1,00-2,10m

**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 10/11/2015

**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

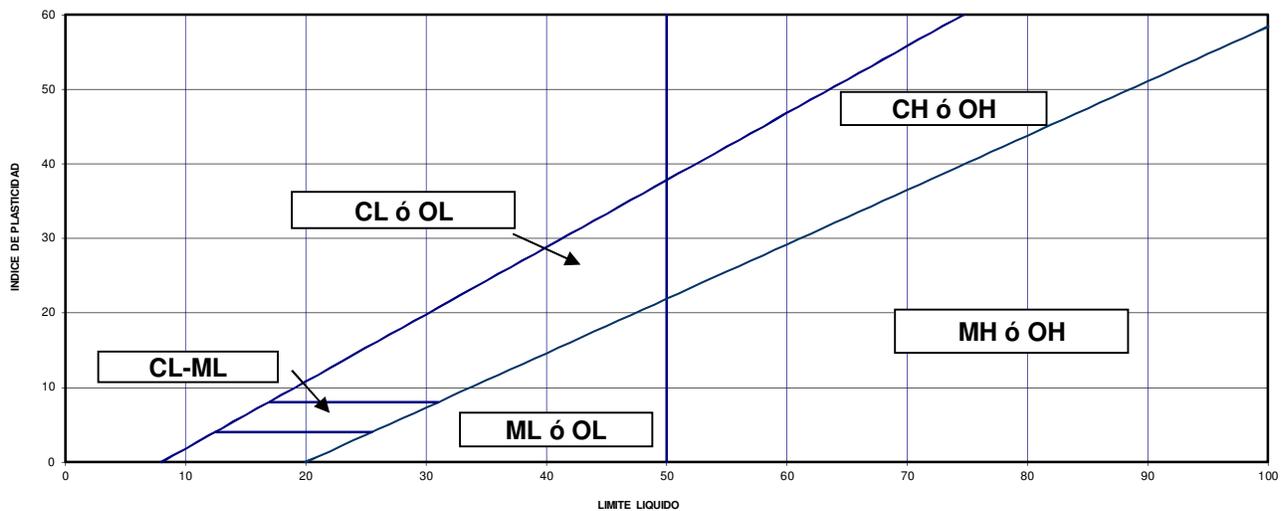
(LL) NL

(LP) NP

(IP) -

(%W) 53,33

RELACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD



**LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN  
NORMA ASTM D 4318-10**

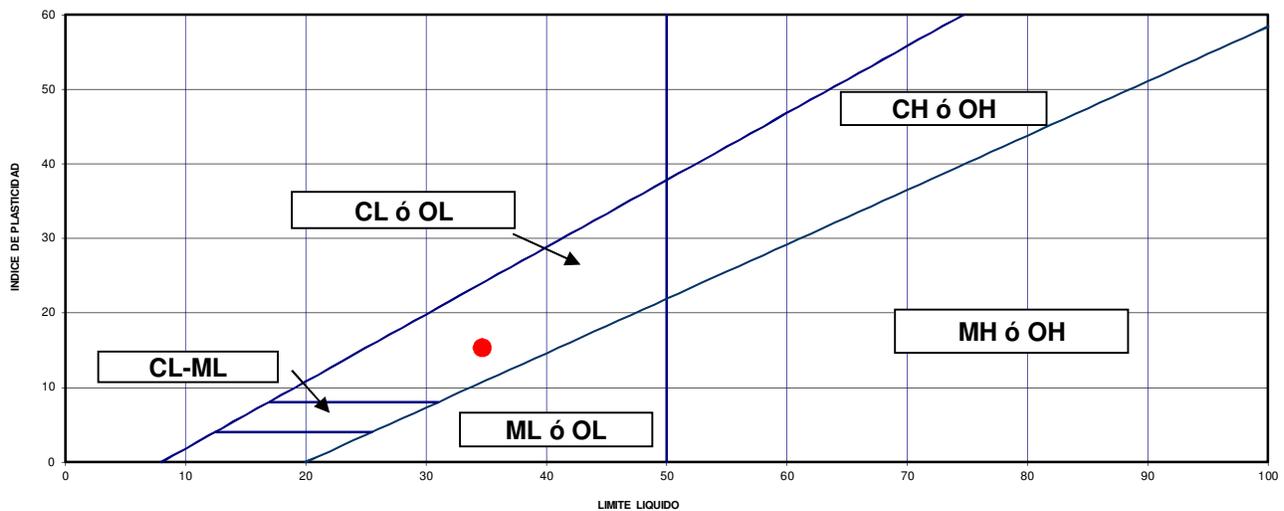
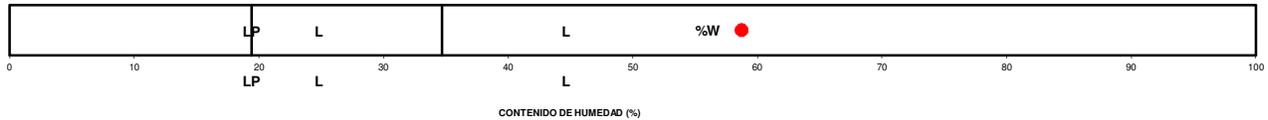
**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **SONDEO 2** M6 5,90-7,00m  
**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 10/11/2015  
**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

**LAVADO SOBRE TAMIZ N° 40-200**

Tamiz	Retenido (g)	Suelo seco (g)	1771,80
		(%) Retenido	(%) Pasa
T-10	337,50	19,05	80,95
T-40	538,50	30,39	50,56
T-200	895,80	50,56	0,00

(LL) 34,70  
 (LP) 19,40  
 (IP) 15,30  
 (%W) 58,79

RELACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

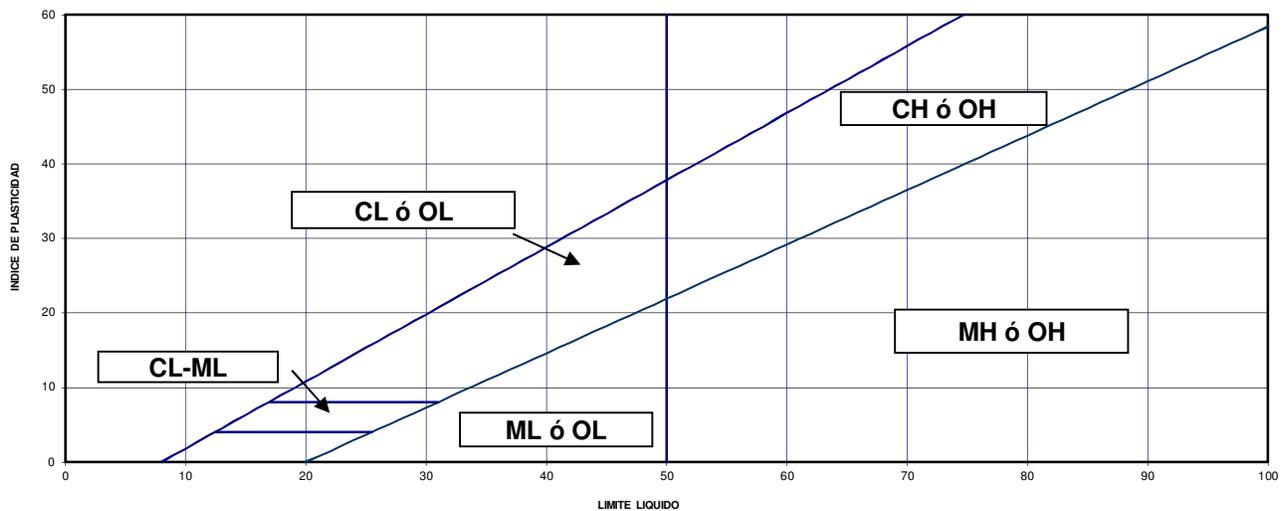
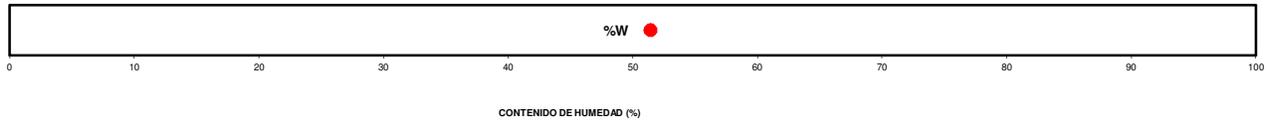


**LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN  
NORMA ASTM D 4318-10**

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **SONDEO 2** M7 7,00-8,00m  
**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 10/11/2015  
**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

(LL) NL  
 (LP) NP  
 (IP) -  
 (%W) 51,45

RELACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO SEGÚN NORMA ASTM D 422

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **SONDEO 2** M8 3,00-4,00m

**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 18/11/2015

**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica  
La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

Peso suelo seco + bandeja: 234,73 g  
 Peso bandeja: 89,13 g  
 Peso suelo seco: 145,6 g

Tamiz N°	Aabertura del tamiz		Mat. Retenido	% Retenido	% Adcum. Ret.	% que pasa
	[Pulg]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]
	4,00	101,6	0,00	0,0	0,0	100,0
	3,00	76,2	0,00	0,0	0,0	100,0
	2 1/2	63,5	0,00	0,0	0,0	100,0
*	2,00	50,8	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1 1/2	38,1	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1,00	25,4	0,00	0,0	0,0	100,0
*	3/4	19,05	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1/2	12,7	0,00	0,0	0,0	100,0
*	3/8	9,525	0,00	0,0	0,0	100,0
4*	1/5	4,750	0,62	0,4	0,4	99,6
8*	0,0937	2,380	0,00	0,0	0,0	0,0
10*	0,0787	1,999	5,01	3,4	3,9	96,1
16*	0,0469	1,191	0,00	0,0	0,0	0,0
20*	0,0331	0,841	10,90	7,5	11,4	88,6
30*	0,0234	0,594	0,00	0,0	0,0	0,0
40*	0,0165	0,419	28,25	19,4	30,8	69,2
50*	0,0117	0,297	0,00	0,0	0,0	0,0
100*	0,0059	0,150	34,78	23,9	54,6	45,4
200*	0,00290	0,737	19,74	13,6	68,2	31,8
		Suma de Pesos:	99,30		Pasa Tamiz N°200	31,8
		Peso del fondo:	46,3			
		peso total:	145,60			

Grava (%)            0,4  
 Arena (%)            67,8  
 Finos (%)            31,8

EXPEDIENTE: COL-15-PGA-416-ET

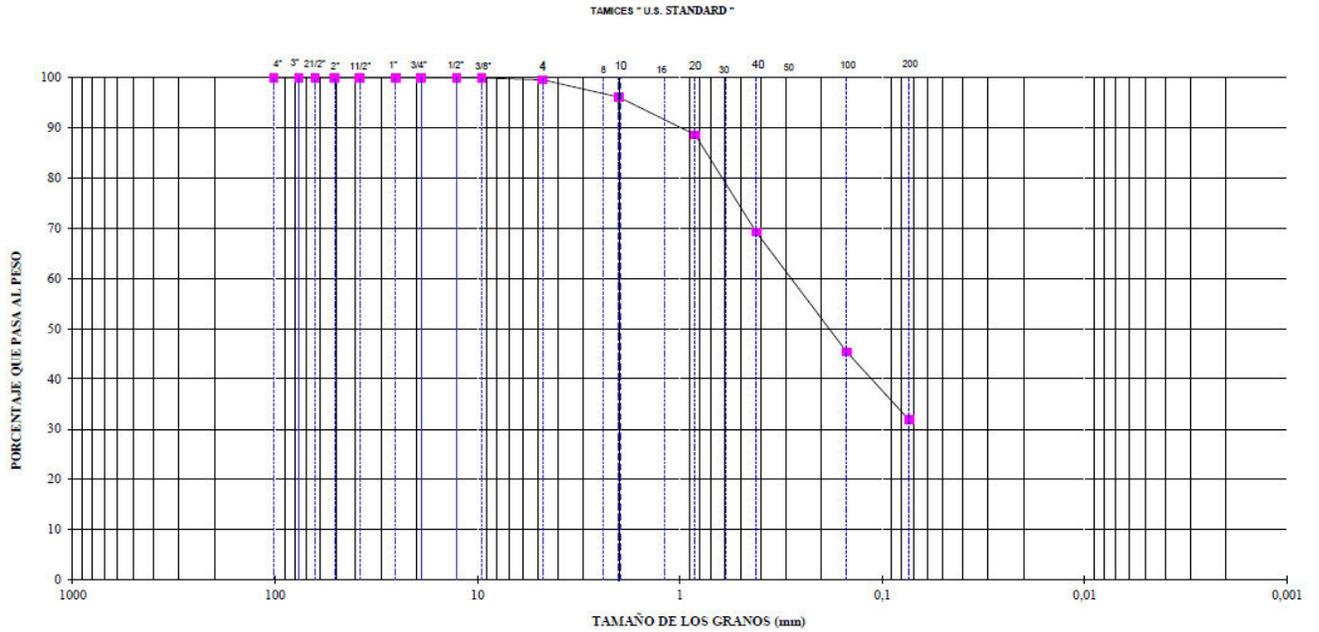
SONDEO 2 M8 3,00-4,00m

PETICIONARIO:

FECHA: 18/11/2015

OBRA:

Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea,  
Manizales, Caldas, Colombia



PIEDRAS	GRAVAS	ARENAS			FINOS	
		GRUESAS	MEDIAS	FINAS	LIMOS	ARCILLAS

Preparado por:  
INGEOSOLUM

Revisado por:  
INGEOSOLUM

Aprobado por:  
INGEOSOLUM

## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO SEGÚN NORMA ASTM D 422

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **BM 1** M5 5,10-7,00m

**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 18/11/2015

**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica  
La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

Peso suelo seco + bandeja: 284,38 g  
 Peso bandeja: 87,56 g  
 Peso suelo seco: 196,82 g

Tamiz N°	Aabertura del tamiz		Mat. Retenido [g]	% Retenido [g]	% Adcum. Ret. [%]	% que pasa [%]
	[Pulg]	[mm]				
	4,00	101,6	0,00	0,0	0,0	100,0
	3,00	76,2	0,00	0,0	0,0	100,0
	2 1/2	63,5	0,00	0,0	0,0	100,0
*	2,00	50,8	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1 1/2	38,1	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1,00	25,4	25,18	12,8	12,8	87,2
*	3/4	19,05	0,00	0,0	12,8	87,2
*	1/2	12,7	0,00	0,0	12,8	87,2
*	3/8	9,525	0,00	0,0	12,8	87,2
4*	0,187	4,750	0,62	0,0	12,8	87,2
8*	0,0937	2,380	0,00	0,0	0,0	0,0
10*	0,0787	1,999	1,93	1,0	13,8	86,2
16*	0,0469	1,191	0,00	0,0	0,0	0,0
20*	0,0331	0,841	5,36	2,7	16,5	83,5
30*	0,0234	0,594	0,00	0,0	0,0	0,0
40*	0,0165	0,419	47,29	24,0	40,6	59,5
50*	0,0117	0,297	0,00	0,0	0,0	0,0
100*	0,0059	0,150	58,29	29,6	70,2	29,9
200*	0,0290	0,737	19,37	9,8	80,0	20,0
	Suma de Pesos:		157,42	Pasa Tamiz N°200		20,0
	Peso del fondo:		39,4			
	peso total:		196,82			

Grava (%) 12,8  
 Arena (%) 67,2  
 Finos (%) 20

**GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO SEGÚN  
NORMA ASTM D 422**

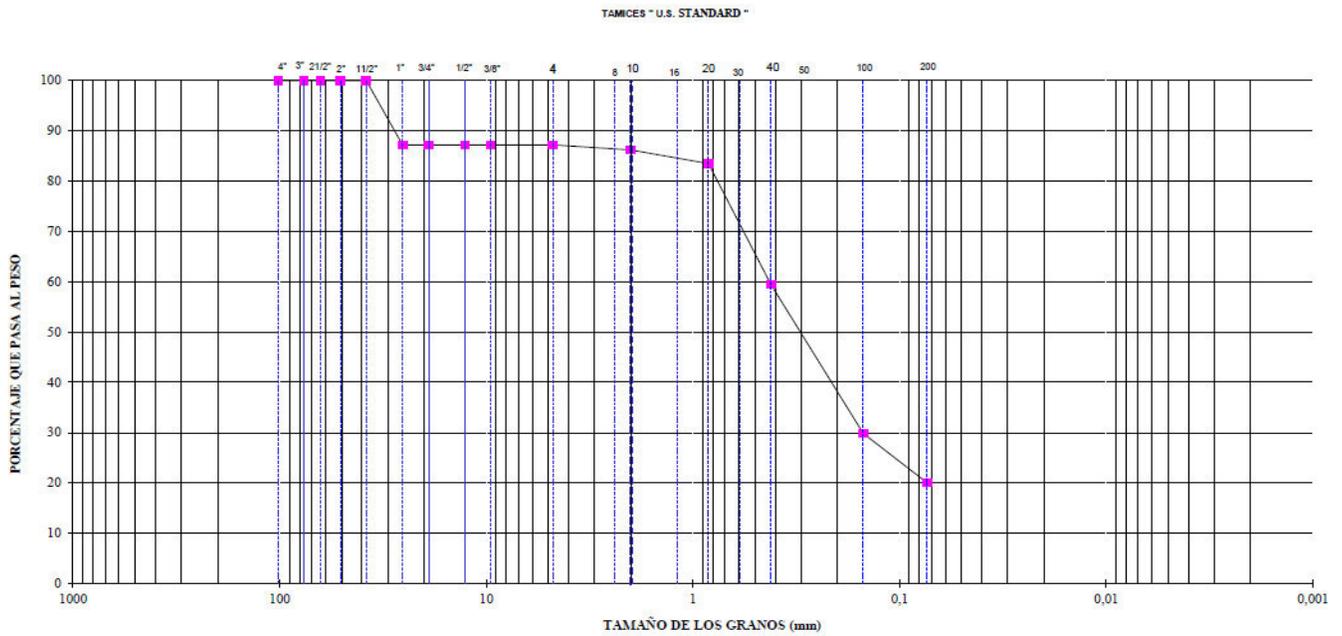
**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET

**BM 1** M5 5,10-7,00m

**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_

**FECHA:** 18/11/2015

**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea,  
Manizales, Caldas, Colombia



PIEDRAS	GRAVAS	ARENAS			FINOS	
		GRUESAS	MEDIAS	FINAS	LEMOS	ARCILLAS

Preparado por:

Revisado por:

Aprobado por:

## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO SEGÚN NORMA ASTM D 422

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **BM2** M3 2,10-2,60m

**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 18/11/2015

**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica  
La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

Peso suelo seco + bandeja: 275,43 g  
 Peso bandeja: 87,78 g  
 Peso suelo seco: 187,65 g

Tamiz N°	Aabertura del tamiz		Mat. Retenido	% Retenido	% Adcum. Ret.	% que pasa
	[Pulg]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]
	4,00	101,6	0,00	0,0	0,0	100,0
	3,00	76,2	0,00	0,0	0,0	100,0
	2 1/2	63,5	0,00	0,0	0,0	100,0
*	2,00	50,8	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1 1/2	38,1	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1,00	25,4	0,00	0,0	0,0	100,0
*	3/4	19,05	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1/2	12,7	0,00	0,0	0,0	100,0
*	3/8	9,525	0,00	0,0	0,0	100,0
4*	1/5	4,750	0,00	0,0	0,0	100,0
8*	0,0937	2,380	0,00	0,0	0,0	0,0
10*	0,0787	1,999	0,35	0,2	0,2	99,8
16*	0,0469	1,191	0,00	0,0	0,0	0,0
20*	0,0331	0,841	3,32	1,8	2,0	98,0
30*	0,0234	0,594	0,00	0,0	0,0	0,0
40*	0,0165	0,419	21,46	11,4	13,4	86,6
50*	0,0117	0,297	0,00	0,0	0,0	0,0
100*	0,0059	0,150	58,46	31,2	44,5	55,5
200*	0,0290	0,737	35,38	18,9	63,4	36,6
	Suma de Pesos:		118,97	Pasa Tamiz N°200		36,6
	Peso del fondo:		68,68			
	peso total:		187,65			

Grava (%) 0  
 Arena (%) 63,4  
 Finos (%) 36,6

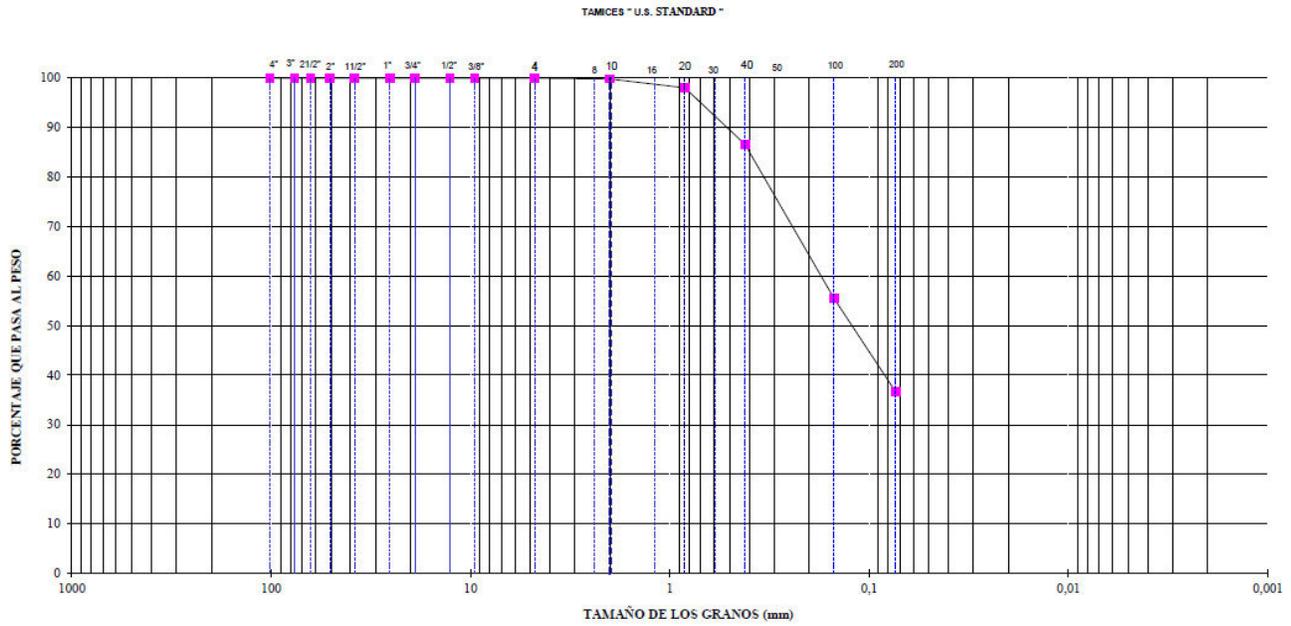
EXPEDIENTE: COL-15-PGA-416-ET

BM2 M3 2,10-2,60m

PETICIONARIO: \_\_\_\_\_

FECHA: 18/11/2015

OBRA: Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea,  
Manizales, Caldas, Colombia



PIEDRAS	GRAVAS	ARENAS			FINOS	
		GRUESAS	MEDIAS	FINAS	LIMOS	ARCILLAS

Preparado por:  
INGEOSOLUM

Revisado por:  
INGEOSOLUM

Aprobado por:  
INGEOSOLUM

## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO SEGÚN NORMA ASTM D 422

**EXPEDIENTE:** COL-15-PGA-416-ET **BM2** M4 2,60-3,60m

**PETICIONARIO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** 18/11/2015

**OBRA:** Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica  
La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

Peso suelo seco + bandeja: 319,02 g  
 Peso bandeja: 114,74 g  
 Peso suelo seco: 204,28 g

Tamiz N°	Aabertura del tamiz		Mat. Retenido	% Retenido	% Adcum. Ret.	% que pasa
	[Pulg]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]
	4,00	101,6	0,00	0,0	0,0	100,0
	3,00	76,2	0,00	0,0	0,0	100,0
	2 1/2	63,5	0,00	0,0	0,0	100,0
*	2,00	50,8	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1 1/2	38,1	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1,00	25,4	0,00	0,0	0,0	100,0
*	3/4	19,05	0,00	0,0	0,0	100,0
*	1/2	12,7	0,00	0,0	0,0	100,0
*	3/8	9,525	0,00	0,0	0,0	100,0
4*	1/5	4,750	0,00	0,0	0,0	100,0
8*	0,0937	2,380	0,00	0,0	0,0	0,0
10*	0,0787	1,999	2,67	1,3	1,3	98,7
16*	0,0469	1,191	0,00	0,0	0,0	0,0
20*	0,0331	0,841	14,67	7,2	8,5	91,5
30*	0,0234	0,594	0,00	0,0	0,0	0,0
40*	0,0165	0,419	63,28	31,0	39,5	60,5
50*	0,0117	0,297	0,00	0,0	0,0	0,0
100*	0,0059	0,150	68,09	33,3	72,8	27,2
200*	0,0290	0,737	20,01	9,8	82,6	17,4
	Suma de Pesos:		168,72	Pasa Tamiz N°200		17,4
	Peso del fondo:		35,56			
	peso total:		204,28			

Grava (%)            0  
 Arena (%)            82,6  
 Finos (%)            17,4



EXPEDIENTE: COL-15-PGA-416-ET FECHA: 23/11/2015

PETICIONARIO: \_\_\_\_\_

OBRA: Estudio Geotécnico de Ingeniería Básica para la Ampliación de la Subestación Eléctrica La Enea, Manizales, Caldas, Colombia

LABORATORIO DE AGREGADOS

MUESTRA N° 3

SONDEO N°1

Prof. 1.0 - 2.5 m SUBESTACIÓN ELÉCTRICA LA ENEA - MANIZALES

Determinación del contenido de azufre en los agregados pétreos. I.N.V. E-233-13.

RESULTADO

0,0074 %

## **13.6 Marco teórico**

### **13.6.1 Metodología de Trabajo**

En el siguiente capítulo, se describen las técnicas empleadas y las características de los equipos usados para el estudio del suelo donde se encuentra ubicada la escuela.

### **13.6.2 Ensayo “SPT”**

Se efectúa para determinar la resistencia características del suelo en estudio, dicho ensayo se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor “N” de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible, y los asientos en suelos granulares.

Se ejecuta en todo tipo de suelo especialmente en arenas, la frecuencia habitual para la realización del SPT a lo largo del sondeo es de un ensayo cada 2 a 5 m, o incluso mayor, en función de las características de terreno.

El SPT se realiza introduciendo dinámicamente en el suelo un toma muestras, del tipo cuchara partida de 50mm (2 pulgadas) de diámetro externo y 35mm de diámetro interno, mediante golpes de un martillo de 63.5kilogramos (140libras) de peso, con caída libre de 76cm. El número de golpes “N” del martillo necesarios para hincar los últimos 30cm (1pie) del total de 45cm penetrados del toma muestras.

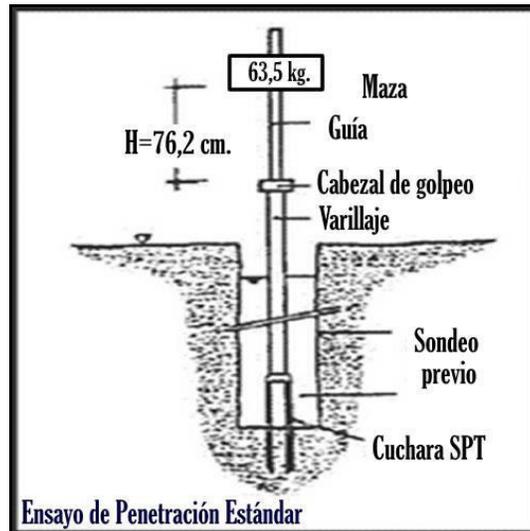


Figura N° 15. Ensayos de penetración estándar

NOTA: Tomado de <https://www.google.com.co/search?q=sondeos+manuales+suelo&espv>

### 13.6.3 Sísmica pasiva o Refracción de microtremores (ReMi-MAM)

La técnica ReMi o MAM, es un método sísmico *in-situ* que consiste en determinar la velocidad de propagación de las ondas S a través del terreno, mediante el análisis espectral de las ondas superficiales de tipo Rayleigh incluidas en el ruido sísmico ambiental registrado.

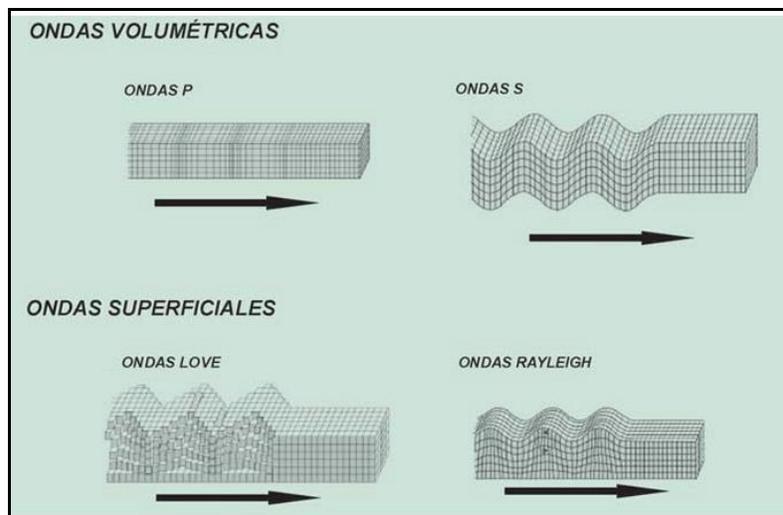


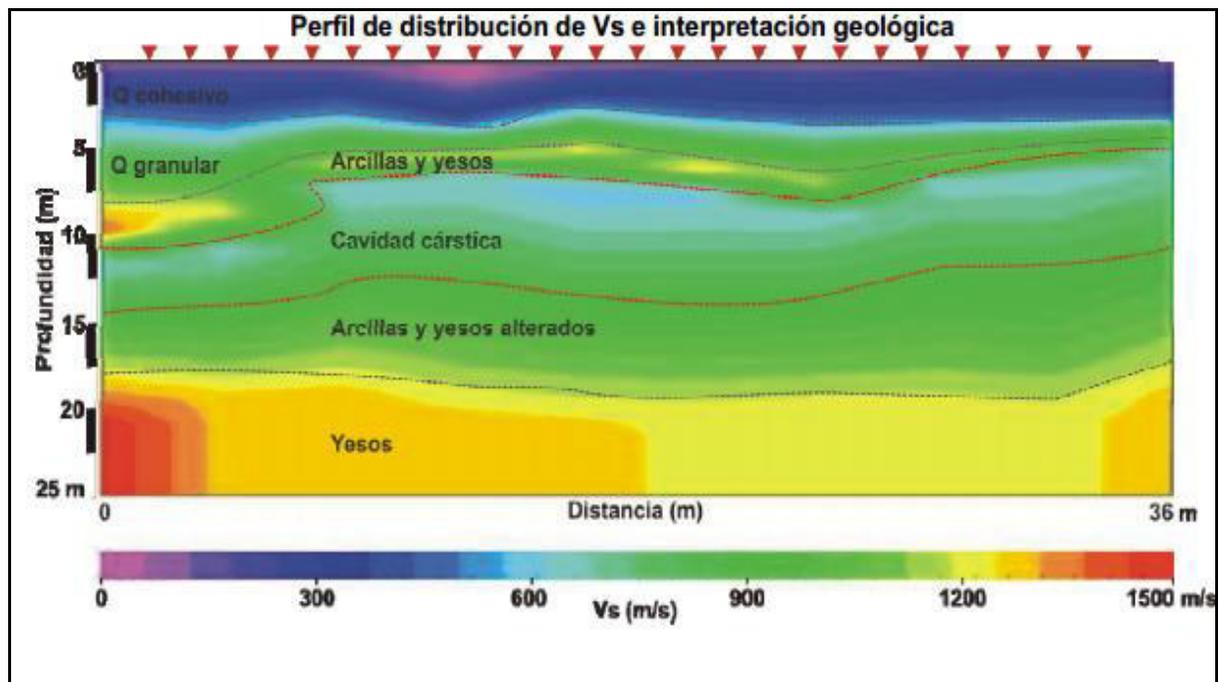
Figura N° 16 Esquema tipos de ondas

NOTA: Tomado de <http://www.remilm.cl/remi.html>

Es decir, se registra el ruido ambiental y se obtiene el perfil de distribución de Vs en el terreno que está directamente relacionado con la rigidez, el grado de consolidación y la consistencia de los suelos.

#### Aplicaciones

- Detección de cavidades.
- Estudio de vibraciones del terreno por paso de trenes, tráfico.
- Estudio de estratigrafía en áreas urbanas.
- Frecuencia (Hz) Cálculo de módulos de deformación.
- Determinación de la rigidez del terreno.
- Control de compactación de taludes (antes y después de la compactación).
- Análisis de la deformabilidad y colapsabilidad de los rellenos antrópicos.
- Estimación de consistencia y compactación del terreno.



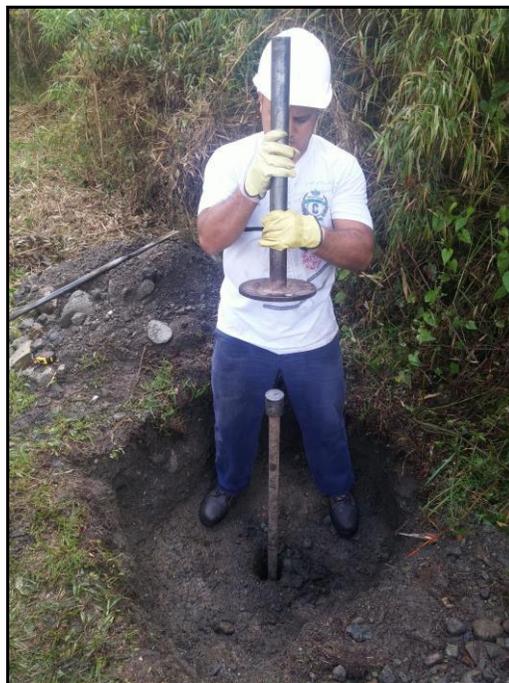
**Figura N° 17 Perfil de distribución de Vs e interpretación geológica**

NOTA: Tomado de <http://www.orbisterrarum.es/pdf/EjemplosReMi.pdf>

**13.7 Registro Fotografico.**



*Foto 1. Proceso de apique - Ap*



*Foto 2. Proceso de apique con hoyador - Ap*



**Foto 3. Apique realizado - Ap**



**Foto 4. Barreno Manual N° 1 – S1**



*Foto 5. Barreno manual 2 – S2*



*Foto 6. SEC 1*



**Foto 7. SEC 2**



**Foto 8. Toma de datos SEC 2**



**Foto 9. MAM1**



**Foto 10. MAM2**



*Foto 11. MAM3*